Reinhard Breuer
Chefredakteur

Hilfsbereit und höflich?

Sind wir Deutschen höflich? Sind wir hilfsbereit? Eigentlich keine Frage – wer würde schon von sich das Gegenteil behaupten! Natürlich sind Höflichkeit und Hilfsbereitschaft nicht dasselbe. Doch haben sie miteinander zu tun: Wer jemandem im Bus den Platz anbietet, ihm bei Tisch den Stuhl zurechtrückt oder beim Einsteigen die Autotür öffnet, der ist höflich und hilfsbereit zugleich. Ebenso lassen sich freilich Situationen vorstellen, in denen höfliche Menschen jede Hilfe verweigern oder wo Hilfsbereite keineswegs besonders höflich sind.

Jedoch möchte man hoffen, dass einer höflichen Grundhaltung auch die Bereitschaft zur Hilfe entspringt. Ob dies tatsächlich so ist, dazu versuchen Soziologen und Psychologen empirische Fakten zu erheben – kein leichtes Unterfangen bei gesellschaftlichen Phänomenen, die diffus sind, sich oft nur statistisch nachweisen lassen und von Kultur, Lebensart und Gesellschaftsschicht beeinflusst werden.

Zu beiden Begriffen empfange ich widersprüchliche Signale. **Höflichkeit:** Auf Ruppigkeit bis offen beleidigendes Verhalten trifft man in der Öffentlichkeit häufiger, als einem lieb ist – und das nicht nur in der Nähe alkoholisierter Jugendgruppen. Unhöflichkeit schlägt einem auch bei alltäglichen Verrichtungen entgegen – auf Ämtern, beim Taxifahren, beim Versuch, sich in einer Schlange anzustellen. Gleichzeitig scheint es eine Renaissance an Benimm-Büchern zu geben – Knigge aller Orten! Von Büchern wie »Der Höflichkeitsfaktor«, »Achtung, Fettnäpfchen«, »Mit Stil zum Erfolg« über »Weltweit richtig auftreten« bis hin zum »Disco-Knigge: anbaggern, abgreifen, abschleppen« findet sich alles, was Peinliches vermeiden lässt und als soziales Schmiermittel den Weg zum Erfolg glättet.

Hilfsbereitschaft: Wer etwa die überwältigende Woge der tatkräftigen Unterstützung der Flutopfer an Elbe, Donau und Moldau im Sommer 2002 verfolgte, der wird die Deutschen zwanglos als Weltmeister im Helfen einstufen wollen. Andererseits ist Verhaltensforschern das so genannte »Bystander-Syndrom« geläufig: Nur wenige Menschen werden aktiv, wenn in der Öffentlichkeit eine Gewalttat oder ein Unglück geschieht. Unvergessen die Szene vor einigen Jahren am See im olympischen Dorf in München: Dort beobachtete eine Gruppe von Leuten, wie mehrere Kinder in das Eis einbrachen und ertranken. Keiner der Zuschauer kam den verzweifelt Rufenden zu Hilfe.

Interessanterweise lässt sich Hilfsbereitschaft wissenschaftlich untersuchen – mit einer Art Rollenspiel. In solchen Experimenten treten etwa zwei Schauspieler auf, die nichts ahnenden U-Bahn-Reisenden einen aggressiven Dialog vorführen. Andere, unerkannt bleibende Wissenschaftler beobachten währenddessen die Reaktion der Umstehenden. Auch der US-Psychologe Robert V. Levine hat solche Sozialspiele entwickelt und weltweit getestet (Seite 26). Damit gelang es ihm, die Hilfsbereitschaft an verschiedenen Orten zu messen und miteinander zu vergleichen. In seinem weltweiten Ranking landen New York und Kuala Lumpur auf den letzten Plätzen, als Sieger überrascht das verrufene Rio de Janeiro. Bitter ist der daraus ermittelte Ländervergleich. Je reicher eine Nation, so zeigt Levine, desto weniger hilfsbereit sind ihre Großstädter.

INHALT

FORSCHUNG AKTUELL

8 **Treibhausbombe im sibirischen Dauerfrost**
Messungen beweisen: Erderwärmung setzt Methan aus Sibiriens Tundra frei

11 **Mutters Blut verrät erbkranken Embryo**
RNA des Kindes im mütterlichen Blut verspricht einfache pränatale Diagnose

14 **Mikrobenschleuder Saharastaub**
Verfrachten Staubwolken Krankheitskeime über Ozeane?

17 **Bild des Monats**
Wespe kappt Fühler

SPEKTROGRAMM

46 Ältester *Homo sapiens* · Platter Stern · Das Autan der Affen · Tiefsee-Canyon vor Mauretanien · Warum der Mensch kein Fell hat · Einfallstor für Schweineviren

THEMEN

20 **25 Jahre Spektrum der Wissenschaft Teil VIII: Die Gene des Menschen**
Die Medizin wird vom Humangenom-Projekt besonders profitieren

26 **Hilfsbereitschaft**
Barmherzige Samariter sind in großen Städten rar

34 **TITELTHEMA: Paralleluniversen**
Hat unser Weltall unzählige Doppelgänger?

48 **Das trickreiche Grippevirus**
Stets Gefahr durch Tierübertragung

58 **Verhängnisvoller Gletscherschwund**
Die Dämme der mit Schmelzwasser gefüllten Gletscherseen im Himalaya drohen zu brechen

66 **Biometrie (Teil II)**
Maschinen erkennen Gesicht, Stimme und Handschrift

FORSCHUNG UND GESELLSCHAFT

76 **Azteken: Götterwahn und Menschenopfer**
Eine Ausstellung in Berlin und Bonn stellt die fremdartige vergangene Welt des mesoamerikanischen Volkes vor

Titelbild: Unser Universum ist vielleicht nur eines unter vielen, die nebeneinander existieren. Quantentheoretiker und Kosmologen spekulieren über Hierarchien solcher »Multiversen«.

Bild: Alfred T. Kamajian

SEITE 20

SERIE »25 JAHRE SPEKTRUM« (VIII)

Das grandiose Genom-Projekt

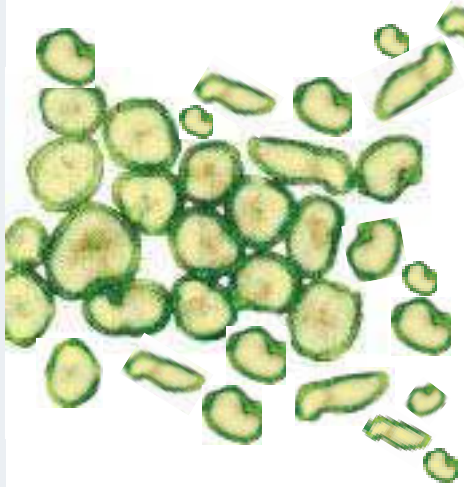
Geradezu aberwitzig schien vor rund 25 Jahren der Plan, in einem gewaltigen internationalen Großprojekt die 3 Milliarden Buchstaben unseres genetischen Handbuchs zu entziffern. Die Forscher setzten aber auf Fortschritt – und gewannen.

SEITE 26

SOZIALPSYCHOLOGIE

Hilfsbereitschaft unter Fremden

Die Wahrscheinlichkeit, mit der Großstädter einem Unbekannten in einer Notlage beistehen, variiert beträchtlich von Ort zu Ort. Eine aufwendige Vergleichsstudie deckte erstaunliche Zusammenhänge auf.



SEITE 48

MEDIZIN

Die siegreiche Strategie des Grippevirus

Epidemiologen warnen vor der nächsten Pandemie durch ein besonders bösartiges Influenzavirus. Nur zu leicht hätte etwa die jüngste Geflügelpest dazu auswachsen können.

▶ Interview mit dem Präsidenten des Robert Koch-Instituts Reinhard Kurth zu Influenza und SARS.

SEITE 58

KLIMAWANDEL

Gletscherschwund im Himalaya

Die globale Erwärmung lässt auch im Himalaya die Eismassen schmelzen. Die Folgen sind fatal: Kurzfristig drohen verheerende Überschwemmungen durch Ausbrüche anschwellender Gletscherseen, langfristig ist die Wasserversorgung großer Teile Ostasiens gefährdet.

TITELTHEMA: KOSMOLOGIE

SEITE 34

Paralleluniversen

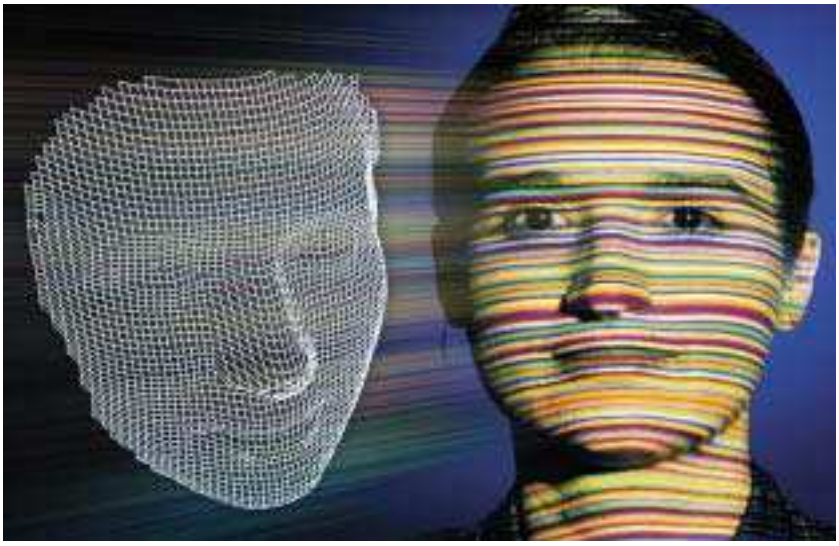
Nicht nur in Science-Fiction-Romanen ist unser Universum bloß eines unter vielen. Auch ernst zu nehmende kosmologische Theorien und Interpretationen der Quantentheorie postulieren parallele Welten.

SEITE 66

REPORT

Biometrie (Teil II)

Individuelle körperliche Merkmale sollen Passworte und geheime Zahlenkombinationen ergänzen oder gar ersetzen. Teil II dieses Reports widmet sich den wohl komplexesten Merkmalen Gesicht, Stimme und Handschrift.



81 Gewinner und Verlierer
Die Vorteile der Globalisierung sind ungleich verteilt oder Warum man nicht auf den Rat des Internationalen Währungsfonds hören sollte

REZENSIONEN

84 Gene, Girls und Gamow
von James D. Watson
Die Neandertaler von Bärbel Auffermann und Jörg Orschiedt
Mathematik im Surrealismus
von Gabriele Werner
Schneller als die Lichtgeschwindigkeit
von João Magueijo
Intelligent Life in the Universe
von Peter Ulmschneider

PHYSIKALISCHE UNTERHALTUNGEN

92 Der wilde Tanz des Tellers

KOMMENTARE

16 Glosse
Schimpansen wie wir

80 Kommentar
Therapeutisch geklonte Kinder?

WISSENSCHAFT IM ...

56 Alltag: Mineralwasser

74 Unternehmen: Flinke Flüssigkeiten

83 Rückblick: Schwanzlose Segelflugzeuge, Jagd auf radioaktive Stubenfliegen, Petroleumglühlampen u. a.

91 Internet: Keine Angst vor Mikroben im Netz

WEITERE RUBRIKEN

3 Editorial · 6 Leserbriefe/Impressum · 90 Preisrätsel · 96 Stellenmarkt · 98 Vorschau

SPEKTRUM-PLUS.DE
ZUSATZANGEBOT NUR FÜR ABONNENTEN

Problem Krebsvorsorge

Unter ungünstigen Umständen kann die Suche nach Krebs mehr schaden als nutzen.

ZUGÄNGLICH ÜBER WWW.SPEKTRUM-PLUS.DE NACH ANMELDUNG MIT ANGABE DER KUNDENNUMMER

Das neue Einmaleins von Wasserstoff und Sauerstoff

Forschung aktuell, März 2003

So neu ist dieses Einmaleins nun auch nicht, zumindest was das Wasserstofftrioxid (H_2O_3) angeht. Schon 1993 haben zwei Chemiker an der Universität Ljubljana das Molekül bei –78 °C gewonnen und gefunden, dass es auch bei Zimmertemperatur noch nicht völlig zerfallen ist. Sie nutzten die sonst für die großtechnische Herstellung von Wasserstoffperoxid angewandte Methode. Während nämlich die direkte Hydrierung von Sauerstoff zu Wasserstoffperoxid ($O_2 + H_2 \rightarrow H_2O_2$) nicht praktikabel ist, gelingt sie mit 2-Ethylanthrahydrochinon. In gleicher Weise kann Ozon (O_3) zum Wasserstofftrioxid hydriert werden. Das in beiden Fällen entstehende 2-Ethylanthrachinon lässt sich mit Wasserstoff und Nickel oder Palladium als Katalysator in das Hydrochinon zurückführen, sodass in summa die einfachen Hydrierungen von O_2 und O_3 verwirklicht werden.

Prof. Dr. Alfred Schmidpeter, München

Ursprung der Menschheit

März 2003

Körperbau, Schädelform, Lage und Größe des Gehirns sind »materielle« Grundlagen, die über die Menschwerdung wenig aussagen. Welche »nichtmateriellen« Informationen konnten verarbeitet werden? Wann setzte das rationale, kritische Denken ein? Das schließlich unterscheidet den Menschen von seinen Vorgängern. Was ist Intelligenz? Die Überlebensfähigkeit von Insekten? Die navigatorische Leistung des Monarch-Falters, einen Kontinent trotz fehlender aerodynamischer Voraussetzungen zielgenau zu überqueren? Der kunstvolle Nestbau eines Rohrsängers? Oder die agrarwirtschaftliche und ingenieurtechnische Glanzleistung, die zur Austrocknung das Aralsees geführt hat?

Solange wir uns – nicht nur in diesem Bereich – an materielle Grundlagen klammern, werden wir die wirklichen Geheimnisse nicht einmal andeutungsweise erkennen.

Lothar H. W. Thielmann, Wiesbaden

Früher moderner *Homo sapiens*, 130000 Jahre (Omo, Äthiopien)

GÜNTER BRÄUER

Ist jedes Rechteck ein Trapez?

Nachgehakt, April 2003

Vereinfachung mithilfe der Trapezformel

Als ehemaliger Berufsschullehrer habe ich mit meinen Schülern, unabhängig von deren schulischer Vorbildung, bei Ausbildungsbeginn immer die für den Berufsschulunterricht notwendigen mathematischen Grundlagen wiederholt.

Bezüglich der Berechnungen von Flächen waren nur Quadrat, Rechteck, Parallelogramm, Dreieck, Trapez und Kreis von Bedeutung. Wenn man von der Kreisfläche einmal absieht, lassen sich alle anderen oben genannten Flächen mit nur einer einzigen Formel, nämlich der Trapezformel, berechnen. Die Schüler empfanden das durchweg als eine Vereinfachung.

In den mir bekannten Mathematikbüchern kann ich keinen Hinweis darauf finden, dass nicht nur die Vierecke (mit zwei parallelen Seiten), sondern auch Dreiecke eigentlich Trapeze sind.

Eduard Schmidt, Hürup

Formulierung präzisiert

Den zitierten Lexikontext, ein Trapez sei »ein ebenes Viereck mit zwei parallelen, nicht gleich langen Seiten«, haben wir schon Mitte 1999 geändert, eben um die Formulierung zu präzisieren. Inzwischen ist kein Printwerk der Großen Brockhaus-Enzyklopädie erschienen, dafür sind wir (seit etwa 2000) im Internet-Portal »http://www.xipolis.net« präsent und haben im vergangenen Jahr das Werk auf CD herausgebracht. Im fünfbändigen Brockhaus (erschienen 2000) und im Meyer-Taschenlexikon in 25 Bänden (letzte Ausgabe 2001) fin-

Spektrum DER WISSENSCHAFT

Chefredakteur: Dr. habil. Reinhard Breuer (v.i.S.d.P.)
Stellvertretende Chefredakteure: Dr. Inge Hoefer (Sonderhefte), Dr. Gerhard Trageser
Redaktion: Dr. Klaus-Dieter Linsmeier, Dr. Christoph Pöppe (Online Coordinator), Dr. Uwe Reichert, Dr. Adelheid Stahnke; E-Mail: redaktion@spektrum.com
Ständiger Mitarbeiter: Dr. Michael Springer
Schlussredaktion: Christina Peiberg, Sigrid Spies
Bildredaktion: Alice Krüßmann (Ltg.), Gabriela Rabe
Art Direction: Karsten Kramarczik
Layout: Sibylle Franz, Andreas Merkert (stv. Hersteller), Natalie Schäfer
Redaktionsassistenz: Eva Kahlmann, Ursula Wessels
Redaktionsanschrift: Postfach 10 48 40, D-69038 Heidelberg, Tel. (06221) 91 26-711, Fax (06221) 91 26-729
Büro Bonn: G. Hartmut Altenmüller, Tel. (02244) 43 03, Fax (02244) 63 83, E-Mail: ghalt@aol.com
Korrespondenten: Dieter Beste, Marion Kälke, Tel. (0211) 908 33 57, Fax (0211) 908 33 58, E-Mail: Dieter.Beste@t-online.de
Produktentwicklung: Dr. Carsten Könneker, Tel. (06221) 91 26-770
Herstellung: Natalie Schäfer, Tel. (06221) 91 26-733
Marketing: Annette Baumbusch (Ltg.), Tel. (06221) 91 26-741, E-Mail: marketing@spektrum.com
Einzelverkauf: Anke Walter (Ltg.), Tel. (06221) 91 26-744
Übersetzer: An diesem Heft wirkten mit: Dr. Markus Fischer, Dr. Andrea Kamphuis, Stephen Koszudowski, Dr. Michael Springer, SciTech Heidelberg.
Verlag: Spektrum der Wissenschaft, Verlagsgesellschaft mbH, Postfach 10 48 40, D-69038 Heidelberg; Hausanschrift: Slevogtstraße 3–5, D-69126 Heidelberg, Tel. (06221) 91 26-600, Fax (06221) 91 26-751

Geschäftsleitung: Dean Sanderson, Markus Bossle
Leser- und Bestellservice: Tel. (06221) 91 26-743, E-Mail: marketing@spektrum.com
Vertrieb und Abonnementverwaltung: Spektrum der Wissenschaft, Boschstraße 12, D-69469 Weinheim, Tel. (06201) 60 61 50, Fax (06201) 60 61 94
Bezugspreise: Einzelheft € 6,90/sFr 13,50; im Abonnement € 75,60 für 12 Hefte; für Studenten (gegen Studiennachweis) € 65,40. Die Preise beinhalten € 6,00 Versandkosten. Bei Versand ins Ausland fallen € 6,00 Porto-Mehrkosten an. Zahlung sofort nach Rechnungserhalt. Konten: Deutsche Bank, Weinheim, 58 36 43 202 (BLZ 670 700 10); Postbank Karlsruhe 13 34 72 759 (BLZ 660 100 75)
Anzeigen: GWP media-marketing, Verlagsgruppe Handelsblatt GmbH; Bereichsleitung Anzeigen: Harald Wahls; Anzeigenleitung: Sibylle Roth, Tel. (0211) 887-23 79, Fax (0211) 887-23 99; verantwortlich für Anzeigen: Stefan Söht, Postfach 10 26 63, D-40017 Düsseldorf, Tel. (0211) 887-23 86, Fax (0211) 887-28 46
Anzeigenvertretung: Berlin: Dirk Schaeffer, Friedrichstraße 150–152, D-10117 Berlin, Tel. (030) 61 68 61 50, Fax (030) 6 15 90 05, Telex 114810; Hamburg: Michael Scheible, Burchardstraße 17, D-20095 Hamburg, Tel. (040) 30 18 31 94, Fax (040) 33 90 90; Düsseldorf: Klaus-P. Barth, Werner Beyer, Kasernenstraße 67, D-40213 Düsseldorf, Postfach 10 26 63, D-40017 Düsseldorf, Tel. (0211) 301 35-20 60, Fax (0211) 1 33 97 4; Frankfurt: Anette Kullmann, Annelore Hehemann, Holger Schlitter, Eschersheimer Landstraße 50–54, D-60322 Frankfurt am Main, Tel. (069) 24 24-45 34, Fax (069) 24 24-45 55; Stuttgart: Norbert Niederhof, Königstraße 20, D-70173 Stuttgart, Tel. (07 11) 22 475-40, Fax (07 11) 22 475-49; München: Reinold Kassel, Bernd Schmetje, Josephspitalstraße 15, D-80331 München, Tel. (089) 54 59 07-12, Fax (089) 54 59 07-16
Druckunterlagen an: GWP-Anzeigen, Vermerk: Spektrum der Wissenschaft, Kasernenstraße 67, D-40213 Düsseldorf, Tel. (0211) 887-23 87, Fax (0211) 37 49 55

Anzeigenpreise: Gültig ist die Preisliste Nr. 24 vom 01.01.2003.
Gesamtherstellung: Konradin Druck GmbH, Leinfelden-Echterdingen
© Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, D-69038 Heidelberg.

Sämtliche Nutzungsrechte an dem vorliegenden Werk liegen bei der Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH. Jegliche Nutzung des Werks, insbesondere die Vervielfältigung, Verbreitung, öffentliche Wiedergabe oder öffentliche Zugänglichmachung, ist ohne die vorherige schriftliche Einwilligung der Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH unzulässig. Jegliche unautorisierte Nutzung des Werks berechtigt die Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH zum Schadensersatz gegen den oder die jeweiligen Nutzer.
Bei jeder autorisierten (oder gesetzlich gestatteten) Nutzung des Werks ist die folgende Quellenangabe an branchenüblicher Stelle vorzunehmen: © 2003 (Autor), Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, Heidelberg.
Jegliche Nutzung ohne die Quellenangabe in der vorstehenden Form berechtigt die Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH zum Schadensersatz gegen den oder die jeweiligen Nutzer.
Für unaufgefordert eingesandte Manuskripte und Bücher übernimmt die Redaktion keine Haftung; sie behält sich vor, Leserbriefe zu kürzen.

ISSN 0170-2971

SCIENTIFIC AMERICAN
415 Madison Avenue, New York, NY 10017-1111
Editor in Chief: John Rennie, Publisher: Bruce Brandfon, Associate Publishers: William Sherman (Production), Lorraine Leib Terlecki (Circulation), Chairman: Rolf Grisebach, President and Chief Executive Officer: Gretchen G. Teichgraeber, Vice President: Frances Newburg

den Sie den korrigierten Text, ebenso wie auf der CD/DVD Brockhaus Multimedial Premium (seit 2000).

Trotzdem tut es uns natürlich sehr Leid, dass manche (früheren) Auflagen unserer Werke einen nicht korrekten Artikel enthalten.

Ingrid Schröder, Bibliographisches Institut & F.A. Brockhaus AG, Leipzig

Der deutsche Atomausstieg findet kaum Nachahmer

Technologie-Report, April 2003

Nach den Angaben des Verbandes der Elektrizitätswirtschaft (VDEW) und des Atomforums hat die öffentliche Hand für Forschung und Entwicklung von 1956 bis 1999 insgesamt 30 Milliarden DM an die Atomindustrie gezahlt. Das ist das 120fache des im Artikel genannten Betrages von 250 Millionen DM.

Gegen die Atomenergie spricht auch folgender wesentliche Grund: Die Nichtbeherrschbarkeit der Atomtechnik zeigt sich auch daran, dass Atomkraftwerke nicht zu versichern sind. Jeder Betrieb muss entsprechend dem möglichen Schadensumfang versichert werden. Atomkraftwerke, die bei einem GAU in Deutschland einen Schaden von ca. 10 Billionen DM verursachen können, werden dagegen von keiner Gesellschaft der Welt versichert (nur bis 500 Millionen DM, entsprechend 0,05 Promille).

Die Atomkraftwerksbetreiber müssten eigentlich eine Rückstellung haben, die auch nach einem GAU noch verfügbar wäre. Das hätte zur Folge, dass die Kilowattstunde Atomstrom 3,60 DM kostet (Berechnung des Prognos-Instituts, Zürich, 1992). Den billigen Atomstrom zahlt letztlich der Steuerzahler.

Prof. em. Wolfgang Latzel, Paderborn

Erstes supraflüssiges Gas erzeugt?

Forschung aktuell, April 2003

Naturwissenschaftlern die richtige Staatsangehörigkeit zuzuordnen ist heikel, sie sind nämlich global mobil. In diesem Beitrag wird Wolfgang Pauli als Schweizer vorgestellt. Geboren ist er in Wien, 1946 wurde er US-Bürger, vor und nach dem Krieg war er Professor in Zürich, wo er 1958 starb. Hatte er die schweizerische Staatsbürgerschaft erworben? Emilio Segrè in »Die großen Physiker und ihre Entdeckungen« und Otto Frisch in »What little I remember« sehen in ihm einen Österreicher und Wiener. Als er 1925 das Ausschließungsprinzip fand, war er übrigens als Dozent in Hamburg (1923–1928).

Werner Bode, Waake

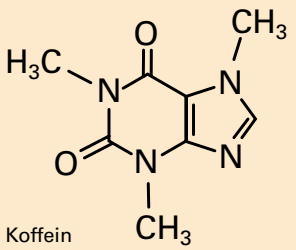
Die Alltagsdroge Koffein

Juni 2003

Die Darstellung insbesondere der historischen Aspekte des Kaffees sowie der Wirkung seiner Inhaltsstoffe hat mir sehr gut gefallen. Als wissenschaftliche Zeitschrift sollten und sind Sie bemüht, selbst komplizierte Sachverhalte auch für Laien bzw. Fachfremde nachvollziehbar wiederzugeben. Dass hierzu vereinfachte und abstrahierende Schemata zur Anwendung kommen, ist vollkommen gerechtfertigt. Zu weit geht diese Reduktion jedoch bei der Abbildung auf Seite 67, wo sogar die Strukturformel des Koffeins durch Weglassen der Heteroatome »reduziert« wird. Dies ist irreführend, denn so mancher an Chemie Interessierte könnte auf die Idee kommen, dass die Struktur des Moleküls eben genauso aussieht.

Die meisten Leser, auch ich, nehmen an, dass alle Informationen im Spektrum-Heft wissenschaftlich korrekt sind.

Dr. Harald Lanig, Erlangen



Koffein

Geziefer im Gehirn

Essay, Mai 2003

Der geradezu masochistisch anmutenden Tendenz zur Erniedrigung des Menschen im Essay muss widersprochen werden. Wir sind bestimmt klüger als Tollwutviren und Toxoplasmose-Erreger und darüber hinaus sogar mit Sicherheit die klügste Spezies auf Erden. Die faszinierende Evolution hat uns ein Gehirn angezüchtet, mit dem wir Viren und fremde Welten erforschen können. Wir manipulieren dieses Gehirn seit langem sehr effektiv durch Erziehung und Drogen, seit kurzem durch Psychopharmaka, freilich nicht immer zu unserem Nutzen. Wir sollten stolz sein auf unsere mentalen und emotionalen Fähigkeiten und sie auf breiter Basis vermehrt zur Lösung sozialer Probleme einsetzen. Wenn wir das Denken und Planen den Wirtschaftsbossen, Rüstungsexperten u. a. überlassen, könnten nach einem Umwelt-Holocaust tatsächlich die niedrigsten Organismen überleben und sich somit im Sinne des Autors als die »Klügsten« erweisen.

Dr. Hannes Klein, Bergheim, Österreich

Der Mensch muss Sorge tragen, dass ihn niedrigste Organismen nicht überleben.

Erratum

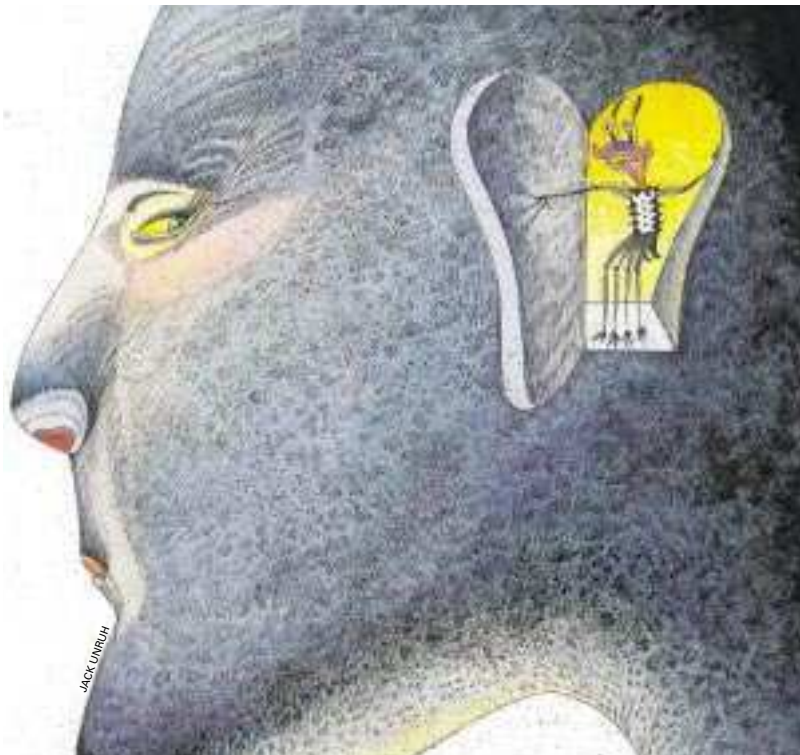
Die Kolam-Figuren Südindiens, Juni 2003

Die Ersetzungsregel des Schlangen-Kolams auf Seite 79 muss lauten:

$B \longrightarrow B+F+B--F--B+F+B$

(Die vier Striche waren durch ein Versehen entfallen.) Rolf Krüger hat uns auf den Fehler aufmerksam gemacht.

Die Redaktion



KLIMA

Treibhausbombe im sibirischen Dauerfrost

Heizt Methan aus der zunehmend abtauenden Tiefkühltruhe Sibiriens das Klima weiter an? Mit mehrjährigen Untersuchungen haben deutsche Forscher jetzt erstmals Belege dafür geliefert.

Von Gert Lange und Thilo Körkel

Jedes Frühjahr taut die Eisdecke der Seen in Alaska, im Norden Kanadas und in Sibirien. Dann blubbern dicke Blasen an die Oberfläche: Methan, das im Winter nicht entweichen konnte, steigt in die Atmosphäre auf. Überall im Permafrost – Gebieten, deren Untergrund bis zu 1500 Meter hinab dauerhaft gefroren ist – lagern gewaltige Mengen dieses klimawirksamen Gases. In tiefen Schichten hat es sich mit Wasser zu Methanhydrat vereinigt, einer brennbaren, eisartigen Verbindung, die nur unter hohem Druck stabil ist (Spektrum der Wissenschaft 6/1999, S. 62). Zusätzlich bilden Mikroorganismen ständig neues Methan – umso mehr, je stärker die oberen Bodenschichten auftauen.

Ein Grund zur Beunruhigung ist dies noch nicht: Methan aus biologischen Quellen gehört zu den natürlichen Treibhausgasen, die Wärme in den unteren Luftschichten festhalten und so die Durchschnittstemperatur auf der Erdoberfläche anheben. Doch was geschieht, wenn sich unser Planet weiter erwärmt, weil der stark gestiegene Ausstoß von Kohlendioxid durch den Menschen den Treibhauseffekt verstärkt? Dann tauen die riesigen Permafrostgebiete, die fast ein Viertel der Landoberfläche der Erde ausmachen und allein die Hälfte des russischen Territoriums bedecken, immer tiefer auf. Als Folge davon sollte die Methanbildung sprunghaft ansteigen – und das Treibhaus Erde zusätzlich aufheizen.

Das Ausmaß dieses Effekts ist bislang jedoch kaum abschätzbar. Während für Kanada und Alaska wenigstens regionale Messungen und einige Hochrechnungen vorliegen, ist Sibirien noch immer die große Unbekannte, für die in den Klimamodellen lediglich Schätzwerte eingesetzt werden. Dem wollen Wissenschaftler der Forschungsstelle Potsdam des Alfred-Wegener-Instituts für Polar- und Meeresforschung (AWI) abhelfen. Seit fünf Jahren untersuchen sie vor allem das Lena-Delta, eine Schlüsselregion für die Umwelt- und Klimaforschung, wo der Permafrost bis zu 500 Meter tief reicht. Das Ziel: den Methanausstoß in Sibirien zu bilanzieren und die Vorgänge im Boden, die ihn verursachen, genauer zu ergründen.

Pioniere im Schlamm

Der aufwendige Einsatz im fernen Nordasien lohnt sich. Die Geowissenschaftlerin Eva-Maria Pfeiffer – sie leitet das Projekt jetzt von der Elbe aus, da sie einen Ruf an die Universität Hamburg erhalten hat – sieht darin eine einmalige Gelegenheit. »Wenn wir die natürlichen Quellen des globalen Methankreislaufs nicht nur genauer erfassen, sondern auch besser verstehen wollen, müssen wir nach Sibirien mit seinen weitflächig zusammenhängenden und fast unbeeinflussten Dauerfrostböden gehen«, erklärt sie. »In Kanada und Alaska hingegen ist der Permafrost nur noch fleckenhaft vorhanden.«

Schon in der Elbniederung, in den Mooren Schleswig-Holsteins und auch in Chinas Reisfeldern hatte die Bodenkundlerin Pfeiffer den Methanausstoß untersucht, ehe sie den Sprung nach Sibirien wagte. Dort Daten zu gewinnen ist nicht jedermanns Sache. Fernab jeglicher Infrastruktur und Zivilisation müssen die Forscher ihre Zeltlager aufschlagen oder in spartanisch eingerichteten Hütten leben. Die fünf bis zehn Wochen dauernden Expeditionen finden in den Sommermonaten statt, wenn der Boden aufgeweicht ist. Die Frauen und Männer stecken dann in Wathosen oder haben sich Stulpenstiefel übergezogen. Der Schlamm und das nach jedem Spatenstich nachlaufende Wasser werden schnell lästig, und ausgerechnet bei bestem Geländewetter – Sonnenschein und Windstille – fallen Myriaden von Stechmücken über jedes Stück nackte Haut her.

Mittels Hauben, die luftdicht auf den Boden aufgesetzt werden, fangen die Forscher das austretende Gas ein und analysieren es mit Chromatografen im eigenen Feldlabor. »Das verlangt jedem Kollegen erst einmal harte Knochenarbeit ab, bevor er einen Methanwert vorweisen kann«, sagt Eva-Maria Pfeiffer. Aber sie und ihr Team, das seit ihrem Wechsel nach Hamburg vom Potsdamer Mikrobiologen Dirk Wagner betreut wird, lieben die handfeste Forschung im Gelände. Zumal sie sich als Pioniere fühlen: Sie gehören zu den wenigen Arbeitsgruppen, die in der sibirischen Arktis Spurengas-Emissionen und ihre Bedeutung für die globalen Stoffkreisläufe erforschen. Im Lena-

EVA-MARIA PFEIFFER, UNIVERSITÄT HAMBURG / AWI

Die vertikale Struktur der Eiskeile ist in diesem Gelände-Aufschluss, der einen senkrechten Schnitt durch den Permafrostboden zeigt, gut erkennbar. Man sieht unterschiedlich alte Keile; der helle (rechts) ist noch relativ jung.

EVA-MARIA PFEIFFER, UNIVERSITÄT HAMBURG / AWI

EVA-MARIA PFEIFFER, UNIVERSITÄT HAMBURG / AWI

Netzartige Strukturen aus Eiskeilpolygonen – hier zwei Luftbilder im Sommer und Winter – geben der Permafrostlandschaft im Lena-Delta ein unverwechselbares Gepräge.

Delta und auf der weiter im Westen gelegenen Taimyr-Halbinsel sind sie gar die Ersten und Einzigen, die mehrjährige Methanmessungen durchgeführt haben. Ihre seit zehn Jahren regelmäßig stattfindenden Expeditionen führten sie aber auch schon auf die Inselgruppe Sewernaja Semlja nördlich des Urals und in das Kolyma-Indigirka-Gebiet im entlegenen Ostsibirien.

Die Expedition im Jahr 2002 ins Lena-Delta – eine markante Region von rund 32 000 Quadratkilometern Ausdehnung, in der Schleswig-Holstein gleich zweimal Platz hätte – bezog erstmals auch die gewaltigen eisreichen Permafrostsedimente, die so genannten Eiskomplexe, in die Methanmessungen ein. Bei den extrem tiefen Lufttemperaturen, die im nordsibirischen Winter herrschen, reißt der Boden auf. Während des Sommers sickert dann Schmelzwasser in die Spalten, das in der folgenden Frostperiode wieder gefriert. So entstehen Eiskeile (Bild links unten). Über die Jahre werden sie immer dicker, dringen tiefer in den Boden ein und verbinden sich in flachen Gebieten zu erstaunlich gleichmäßigen Mustern. Diese typischen polygonalen Netze machen die ausgedehnten Permafrostlandschaften unverwechselbar (Bilder rechts). Wie Pfeiffers Team erstmals nachwies, entweicht aus den Eiskeilen selbst ebenfalls Methan.

Auch wenn die bisherigen Daten noch keine abschließende Bilanzierung erlauben, ist eines schon jetzt klar: Der sibirische Permafrostboden darf als natürliche Methanquelle in Klimamodellen keinesfalls vernachlässigt werden, wie dies mangels gesicherter Daten oft geschieht. »Entgegen der bisherigen Meinung erreicht die Freisetzung und Bildung von Methan in kalten Frostregionen sogar die Größenordnung der wesentlich wärmeren Feuchtgebiete in den gemäßigten Zonen«, erläutert Eva-Maria Pfeiffer.

Das zeigt etwa der Vergleich mit den natürlichen Flussmarschen Norddeutschlands. Werden dort im Durchschnitt 76 bis 128 Milligramm Methan pro Quadratmeter und Tag gemessen, ermittelten die Forscher in den Eiskeillandschaften immerhin zwischen 52 und 120 Milligramm. Diese Werte, gemessen in den Julimonaten der vergangenen Jahre, liegen deutlich über den 33 bis 77 Milligramm der sibirischen Feuchtböden. Und wegen des großen Volumens der Eiskomplexe summieren sie sich zu einer enormen Emission. Als Pfeiffer die auf den Versuchsfeldern gemessenen Werte auf das gesamte Lena-Delta hochrechnete, kam sie auf Quellstärken von 70 000 bis 80 000 Tonnen Methan in einer einzigen Vegetationsperiode. Dabei umfasst dieses weitläufige Mündungsgebiet nur rund ein Sechstel des arktischen Sibiriens.

Wärme macht Mikroben munter

Woher stammt nun all dieses Gas? Biogenes Methan wird von Archaeen (früher nannte man sie Archaebakterien) gebildet. Diese stammesgeschichtlich sehr alten Lebensformen scheinen sich gut an die Bedingungen im Permafrost angepasst zu haben. »Erstaunlicherweise sind die Mikroben, wie unsere Experimente zeigten, selbst bei tiefen Temperaturen bis unter den Gefrierpunkt in der Lage, Methan zu bilden«, berichtet Eva-Maria Pfeiffer. Allerdings steigern sie ihre Aktivität in der Wärme. Bei einem Temperaturanstieg um wenige Grad Celsius, wie Klimaszenarien ihn vorhersagen, tauen die Permafrostgebiete im Sommer tiefgründiger auf. Dann werden die Archaeen noch deutlich mehr Methan freisetzen als bisher schon.

Die Emission des Treibhausgases hängt aber auch noch von anderen Faktoren ab. So ernährt sich ein Teil der Methanproduzenten von Essigsäure und ist damit auf Essigsäure bildende Bakterien angewiesen. Deren Zahl sinkt jedoch manchmal plötzlich. Außerdem gelangt nicht alles Methan in die Atmosphäre. Nach ersten Felduntersuchungen Pfeiffers im Sommer 2001 und 2002 werden ▷

Im August bei wissenschaft-online

wissenschaft-online

Am 27. August überholt die Erde auf ihrem Weg um die Sonne den Mars und kommt ihm so nahe wie seit über 70.000 Jahren nicht mehr. Selbst mit bloßem Auge wird dann sein rotes Funkeln sichtbar sein.

Durch das Teleskop erscheint der Mars in den kommenden Wochen so groß wie nie, und deshalb möchte wissenschaft-online Ihre Bilder vom Roten Planeten!
Ob mit Kamera oder Stift und Papier: Wir werden die besten Beiträge küren und veröffentlichen.

esa

Dem Sieger winkt eine Reise für zwei Personen nach Darmstadt ins European Space Operations Centre. Hier, im Satellitenkontrollzentrum der ESA, wo auch die europäische Mission Mars Express überwacht wird, werden Sie live beim Start einer der kommenden Raummissionen dabei sein.
Alles weitere zu unserem Wettbewerb sowie Infos rund um den Mars finden Sie bei wissenschaft-online:
www.wissenschaft-online.de/mars

www.wissenschaft-online.de

EVA-MARIA PFEIFFER, UNIVERSITÄT HAMBURG / AWI

Die Messapparatur umfasst neben einer kleinen meteorologischen Station, die Lufttemperatur, Feuchtigkeit, Niederschläge und Windgeschwindigkeit erfasst, mehrere Gashauben, die aus dem Boden austretende Gase sammeln. Von ihnen sind hier nur die quadratischen Kunststoffdeckel zu sehen. Sie tragen Stutzen, von denen Schläuche zu den Pumpen auf den Holzstegen führen.

▷ im Permafrost rund zwei Drittel des unter Luftabschluss gebildeten Treibhausgases wieder abgebaut, bevor es entweichen kann. Denn im Sommer sind in den sauerstoffreichen Oberböden Methan oxidierende Bakterien aktiv.

Hauptsächlich entscheidet aber die Temperatur über die Menge an freigesetztem Methan. Das zeigen die Messreihen seit 1999. In den letzten drei Jahren haben sich die Durchschnittstemperaturen der bodennahen Luft in den Untersuchungsgebieten kontinuierlich von 11,2 auf 12,1 Grad Celsius erhöht – ein Trend, der auch in den Permafrostgebieten in Kanada, Alaska und Tibet beobachtet wurde. 2002 war ein besonders warmer Sommer: Es gab praktisch keinen Frühling, die Temperaturen stiegen in einem kurzen Zeitraum von –40 auf +20 bis +30 Grad Celsius. Parallel zur Erwärmung nahm auch die Methan-Emission deutlich zu: von 37 Milligramm pro Tag und Quadratmeter im Sommer 1999 auf 49 Milligramm im Jahr 2002.

Zusätzlicher Temperaturschub

Verantwortlich dafür sind aber nicht nur die Mikroben. Tauen die nicht ganz so kühlen Randgebiete des Permafrostes auf, fehlt die nach oben isolierende Eisdecke. Durch eisfreie Schichten und geologische Bruchzonen kann dann auch im Untergrund gespeichertes Methan aus Gas- und Gashydratlagerstätten entweichen, die nicht unmittelbar biologischen Ursprungs sind. Noch muss untersucht werden, wie hoch der biogene und der geogene Anteil an der Freisetzung ist.

Insgesamt machen die Abschätzungen jedoch bereits deutlich, dass bei fortgesetzter globaler Erwärmung die Methan-Emission in Sibirien stark genug ansteigt, um für einen zusätzlichen Wärmeschub in der Atmosphäre zu sorgen. Es käme zu einer Verschiebung der Klimazonen nach Norden, wie sie bereits in einigen arktischen Gebieten Kanadas und Skandinaviens beobachtet wird. Als Folge davon würden Bäume in die Tundra einwandern.

Außerdem sehen Atmosphärenforscher Anzeichen dafür, dass sich die Grenze zwischen der atlantischen Zirkulation, die feuchte Luft heranführt, und der trockenen kontinentalen Strömung nach Osten verlagern könnte. Dann wäre in Sibirien mit mehr Niederschlägen zu rechnen – neben der Erwärmung ein weiterer Stimulus für die Methanproduzenten.

Es besteht also kein Zweifel mehr: Sibirisches Methan wird zunehmend zum Treibhauseffekt beitragen. Strategien, seinen Ausstoß zu vermindern, wurden zwar diskutiert, stoßen aber schnell an Machbarkeitsgrenzen. Und so liefert Sibirien weitere harte Fakten für die Forderung, den anthropogenen Kohlendioxid-Ausstoß zu reduzieren, um die menschengemachte Erwärmung der Erde zu bremsen, bevor es zu spät ist. ◁

Gert Lange lebt als freier Wissenschaftsjournalist in Berlin und schreibt vorzugsweise über Polarforschung. **Thilo Körkel** ist Diplomphysiker und freier Wissenschaftsjournalist in Frankfurt am Main.

PRÄNATALE DIAGNOSTIK

Mutters Blut verrät erbkranken Embryo

Schon bald genügt vielleicht ein einfacher Bluttest bei der Mutter, um Erbkrankheiten des Ungeborenen zu erkennen. Forscher entdeckten Abschriften embryonaler Gene im mütterlichen Serum, die Auskunft über den Gesundheitszustand des Kindes geben können.

Von Pia Prasch

Seit kurzem ist das menschliche Erbgut vollständig entziffert. Mit diesem Erfolg verbinden sich große Hoffnungen auf medizinische Fortschritte. So kann in Zukunft jeder für weniger als tausend Dollar sein Erbgut analysieren lassen, um genetische Dispositionen für bestimmte Krankheiten zu erkennen. Außerdem eröffnet sich werdenden Müttern auf längere Sicht die Möglichkeit, nur Säuglinge ohne schwere genetische Defekte zur Welt zu bringen. Das ist umso bedeutsamer, als bei Frauen schon seit längerem die Tendenz besteht, immer später im Leben Kinder zu bekommen. Je höher aber das Alter der Gebärenden, desto größer ist das Risiko für den Säugling, an einer Erbkrankheit zu leiden; denn die Zahl der Mutationen in den Keimzellen steigt während des Lebens. Schwere Schädigungen bei Ungeborenen möglichst früh und sicher diagnostizieren zu können, wird so zu einem ernsten Anliegen.

Genetische Defekte können zum Beispiel auf einer falschen Zahl von Chromosomen beruhen. Die bekannteste solche Störung ist das so genannte Down-Syndrom: Es tritt etwa bei jedem 650. Neugeborenen auf. Solche Kinder haben eine überzählige Kopie des Chromosoms 21, weshalb man auch von Trisomie 21 spricht. Als Folge davon leiden sie unter verschiedenen körperlichen Gebrechen, Sprachschwierigkeiten und verminderten motorischen sowie intellektuellen Fähigkeiten. Die Ausprägung der Krankheit variiert allerdings stark; so sind einige der Betroffenen geistig schwer behindert, andere aber durchaus lernfähig.

Zur Analyse der kindlichen Chromosomen dient bisher eine Fruchtwasseruntersuchung (Amniozentese), oder es werden Eihautzellen aus der Plazenta entnommen (Chorionbiopsie). Diese Tests sind aber mit einem erheblichen Risiko für den Fetus verbunden. Um an das Fruchtwasser oder die Plazenta zu gelangen, führt der Arzt eine Nadel in die Gebärmutter ein, was in 0,5 bis 2 Prozent der Fälle zu einer Fehlgeburt führt. Beide Tests können zudem erst sehr spät in der Schwangerschaft durchgeführt werden. Wenn ungefähr in der 19. Woche das Ergebnis der Fruchtwasserpunktion vorliegt, hat die Mutter schon erste Kindsbewegungen verspürt. Trotzdem ent- ▷

MIT FREUNDLICHER GENEHMIGUNG VON PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES, USA; FOTO: M. A. ANSARY / SPL / AG. FOCUS

An kleine Partikel gebunden, gelangen embryonale Boten-RNA-Moleküle aus der Plazenta in den Blutkreislauf der Mutter. Über ihre Analyse lassen sich einst vielleicht auf einfache Art Erbkrankheiten beim Ungeborenen erkennen.

▷ scheiden sich in den Industrienationen Schwangere zu mehr als 90 Prozent für eine Abtreibung, nachdem das Down-Syndrom bei ihrem Kind diagnostiziert worden ist, was extreme psychische Belastungen mit sich bringt.

Der für den Fetus riskante Eingriff könnte der werdenden Mutter künftig jedoch erspart bleiben. Wie Enders K. O. Ng und seine Arbeitsgruppe an der Chinesischen Universität in Hongkong nun zeigten, genügt im Prinzip ein einfacher Bluttest bei der Mutter, um Erbkrankheiten beim Embryo festzustellen. Solche Untersuchungen werden zwar auch heute schon für Risikoabschätzungen verwendet, sind aber noch kompliziert und relativ unsicher. So misst man beim so genannten Tripletest auf das Down-Syndrom im Mutterblut die Konzentration dreier Hormone, die vom Ungeborenen stammen. In Kombination mit Ultraschallbildern lassen die erhaltenen Werte eine Diagnose zu, deren Zuverlässigkeit immerhin bei 85 Prozent liegen soll.

Schon seit einiger Zeit ist auch bekannt, dass im Blutplasma von Schwangeren rote Blutkörperchen des Kindes vorkommen, die dessen DNA enthalten. Die kindliche Erbsubstanz lässt sich allerdings nur sehr schwer oder gar nicht von derjenigen der Mutter unterscheiden. Zweifelsfrei gelingt das nur bei männlichen Feten anhand des geschlechtsspezifischen Y-Chromosoms.

Ng und seine Mitarbeiter konnten nun zeigen, dass Mutterblut außer DNA auch so genannte Boten-RNA vom Embryo enthält. Dabei handelt es sich um Abschriften aktiver Gene, deren Proteinprodukt gerade gebraucht und folglich produziert wird. Diese Blaupausen des genetischen Originaltextes wandern zu den Ribosomen (den zellulären Eiweißfabriken), wo sie die Herstellung des betreffenden Proteins veranlassen. Wie Ng und seine Kollegen herausfanden, handelte es sich bei der gefundenen RNA um die Abschriften zweier Gene, von denen man weiß, dass sie nur in der aus kindlichem Gewebe bestehenden Plazenta aktiv sind. Damit war bewiesen, dass sie wirklich vom Embryo stammen. Eines der beiden codiert übrigens für das Hormon Choriongonadotropin, dessen Konzentration auch beim Tripletest gemessen wird.

Je aktiver ein Genabschnitt ist, desto mehr Abschriften davon findet man im Blut. Die anomale Konzentration einer bestimmten Boten-RNA kann deshalb auf eine Störung in der Regulation des betreffenden Gens hinweisen. Genau das wollen sich die Forscher nun zu Nutze machen, denn Erbrankheiten gehen oft mit einer solchen Fehlsteuerung einher. Um möglichst viele davon erkennen zu können, bemühen sich Ng und seine Mitarbeiter, noch andere Boten-RNAs aus der Plazenta im Blut der Schwangeren zu identifizieren. Sie rechnen mit 20 bis 30, von denen einige auch Hinweise auf weitere genetische Defekte geben könnten.

Wie die Untersuchungen zeigten, ist die RNA im mütterlichen Blutkreislauf erstaunlich stabil, da sie an noch unbekannte winzige Partikel gebunden zu sein scheint. Ihre Messung gestaltet sich daher viel einfacher als die der Proteine, was Tests erleichtert. Zudem ist die Anzahl der Gene, deren Aktivität auf diese Weise überwacht werden kann, wahrscheinlich größer; denn Boten-RNA enthält nicht immer die Bauanleitung für ein Protein. Gegenüber DNA hat sie den Vorteil, dass ihre embryonale Herkunft auch bei Mädchen zweifelsfrei feststellbar ist.

Die heutigen Verfahren der pränatalen Diagnose bleiben wegen der Gefährdung des werdenden Lebens und der Schwere des Eingriffs auf Frauen beschränkt, bei denen ein erhöhtes Risiko besteht, dass das Kind erbgeschädigt ist. Ein simpler Bluttest auf Erbkrankheiten ließe sich dagegen problemlos bei jeder Schwangeren durchführen. Das wäre einerseits zu begrüßen, da es allen Eltern Gewissheit über die genetische Gesundheit ihrer ungeborenen Kinder gäbe. Andererseits aber würde das jetzt schon bestehende ethische Dilemma verschärft. Die Eltern gerieten noch stärker in die Rolle von Richtern über Leben und Tod des Ungeborenen. Bei einer Ausweitung der Tests gäbe es zwangsläufig auch mehr positive Diagnosen, welche die Betroffenen vor die belastende Gewissensentscheidung stellen, ob sie dem erbgeschädigten Lebewesen ein Daseinsrecht zubilligen oder nicht. ◁

Pia Prasch ist Diplombiologin und freie Wissenschaftsjournalistin in Heidelberg.

EPIDEMIOLOGIE

Mikrobenschleuder Saharastaub

Können Staubwolken Krankheitserreger über Ozeane hinweg verfrachten? Lange galt das als ausgeschlossen, doch immer mehr Befunde sprechen inzwischen dafür.

Von Otto Pohl

Am 11. Februar 2001 wirbelt ein gewaltiger Sandsturm in der nördlichen Sahara eine riesige Staubwolke auf und bläst sie Richtung Atlantik (Bild). Zwei Tage später hat der Wüstendreck England erreicht. Kurz darauf werden gleichzeitig aus verschiedenen Teilen der Insel Ausbrüche von Maul- und Klauenseuche gemeldet. Eugene Shinn vom U.S. Geological Survey (USGS) in St. Petersburg (Florida) sieht darin mehr als ein zufälliges Zusammentreffen.

Die Idee, dass Staubwolken Krankheitserreger über weite Strecken verfrachten, kursiert schon seit längerem, fand aber bisher wenig Anklang. Vor einigen Jahren versuchte Shinn Gesundheitsexperten der US-Regierung davon zu überzeugen. »Aber keiner wollte auf mich hören«, erinnert er sich. Die Behördenvertreter mochten einfach nicht glauben, dass etwas so Diffuses und Unkontrollierbares wie eine Staubwolke Krankheit und vielleicht sogar Tod über Amerika bringen könne.

Ausgedörrte Böden voller Erreger aus Exkrementen

Aber neuerdings stößt die Theorie auf steigendes Interesse – zeigt sich doch, dass sie viele bislang rätselhafte Ausbrüche von Seuchen erklären könnte. Zwar hat sich aus den Trockenregionen der Erde seit jeher Staub in die Lüfte erhoben, doch seine Menge ist in jüngster Zeit deutlich gestiegen. Wissenschaftler schätzen sie heute auf eine Milliarde Tonnen pro Jahr. Außerdem hat sich der Staubgürtel der Erde verbreitert.

Teilweise hängt diese Entwicklung mit natürlichen Klimazyklen zusammen, die etwa für die nun schon 30 Jahre anhaltende Trockenheit in Nordafrika verantwortlich sind. Verstärkt wird sie jedoch durch menschengemachte Faktoren. Ein Beispiel ist die dramatische Verkleinerung des Aralsees durch übermäßige Nutzung der Zuflüsse für Bewässerungszwecke. Kurzsichtige Agrarpraktiken tragen zur permanenten Austrocknung fruchtbarer Gebiete bei und hinterlassen ausgedörrte Böden, durchtränkt mit Pestiziden und Krankheitserregern aus tierischen und menschlichen Exkrementen.

Auf die Idee eines möglichen Zusammenhangs zwischen Staub und Seuchen kamen Shinn und seine USGS-Kollegen durch ein seltsames untermeerisches Massensterben in der Karibik Anfang der 1980er Jahre. Ein Bodenpilz fing an, in großem Umfang Hornkorallen abzutöten. Das war umso erstaunlicher, als sich der Schädling, wie Garriet Smith von der Universität von South Carolina bewies, nicht in Salzwasser vermehren kann. Er brauchte also immer wieder externen Nachschub. Weil er auch im Umkreis von unbewohnten Inseln wütete, auf denen es keine nackte Erde oder landwirt- ▷

ORBITAL IMAGING CORPORATION PHOTO RESEARCHERS, INC.

Sandstürme über der Sahara blasen immer wieder Staubwolken auf den Atlantik, von wo sie auch nach Europa gelangen. Hier ist eine Satellitenaufnahme vom 11. Februar 2001 gezeigt. Zwei Tage nachdem der Wüstenstaub England erreicht hatte, brach an verschiedenen Stellen der Insel gleichzeitig die Maul- und Klauenseuche aus.

▷ schaftlich bedingte Bodenerosion gab, schien eine lokale menschengemachte Ursache somit unwahrscheinlich.

Als Smith den afrikanischen Staub analysierte, der in der Karibik niederging, entdeckte er darin den Bodenpilz *Aspergillus sydowii*. Und der konnte, so das Ergebnis entsprechender Versuche, gesunde Hornkorallen infizieren. Aber wie überstand er die lange Reise von Afrika über den Atlantik? Wie die USGS-Wissenschaftler nachwiesen, schützte die dichte Teilchenwolke den Pilz vor ultravioletter Strahlung und anderen schädlichen Einflüssen.

Auch Korallenseuchen wie die Weiß- und Schwarzbandkrankheit, die von Bakterien verursacht werden, könnten ihren Ursprung in der Sahara haben. Die USGS-Forscherin Ginger Garrison entdeckte eine Verbindung zwischen ihrem Auftreten und Sandstürmen in Afrika. Ähnliches gilt für Ausbrüche der Maul- und Klauenseuche in Südkorea letztes Jahr: Sie ereigneten sich regelmäßig, nachdem große Staubmengen aus der Mongolei und China herübergeweht waren.

Eine wahrhaft schmutzige Bombe

Inzwischen sind die USGS-Forscher nicht mehr allein. Die US-Raumfahrtbehörde Nasa registriert und verfolgt die Staubwolken, die so groß wie ganz Spanien sein können, nun weltweit per Satellit. Außerdem hat die amerikanische National Oceanic and Atmospheric Administration unlängst eine Messstation in Kalifornien errichtet, die aus Asien heranwehenden Staub erfassen soll.

Befürchtungen, auch die tödliche Lungenseuche SARS könne sich auf diese Weise über die Ozeane hinweg ausbreiten, sind allerdings unbegründet. Nach Expertenmeinung würde der Krankheitserreger nicht so lange in der trockenen Luft überleben. Außerdem zeigen die epidemiologischen Daten, dass er nur durch direkten Kontakt mit einem Patienten übertragen wird.

Bioterrorismus mit anderen Krankheitserregern ist aber nicht auszuschließen. »Milzbrand überlebt die lange Reise«, meint Shinn, der in einer Studie für die US-Regierung vor kurzem die Gefahr abgeschätzt hat, dass Terroristen sich einer Staubwolke bedienen. Der Begriff »schmutzige Bombe« bekäme dabei eine ganz neue Dimension. ◁

Otto Pohl ist freier Journalist in Berlin.

GLOSSE

Schimpansen wie wir

Homo bekommt »äffischen« Zuwachs.

Karikaturisten ahnten es schon lange. Von den viktorianischen Zeichnern, die Darwin als Schimpansen abbildeten, bis hin zu Steve Bell, in dessen Spottwerken US-Präsident Bush grundsätzlich als Affe erscheint, betonten sie stets gern die enge Verwandtschaft des Menschen mit den beiden Mitgliedern der Gattung *Pan*: dem gewöhnlichen Schimpansen *P. troglodytes* und dem sexbesessenen Bonobo *P. paniscus*. Auch viele Zoologen und Evolutionsforscher hieben in dieselbe Kerbe. Desmond Morris beschrieb unsere Art als »nackte Affen«, und Jared Diamond nannte *Homo sapiens* den »dritten Schimpansen«.

Nur in der systematischen Landkarte alles Lebendigen hielt sich hartnäckig der Mythos, *Homo* und Menschenaffen hätten so wenig gemein, dass sie in unterschiedliche Familien gehören. Nach der offiziellen Lesart, die nun seit 40 Jahren gültig ist, stehen die Schimpansen den Gorillas angeblich viel näher als uns Menschen.

Doch jetzt haben mehrere Genomforscher im Stammbaum des Lebens aufgeräumt und die Sippschaft von Cheeta und Charlie kurzerhand auf den Ast umgesiedelt, auf dem wir bisher ganz alleine hockten *(PNAS, 23.5.2003, S. 7181)*. Wie umfassende Genanalysen im Labor von Morris Goodman in Detroit ergaben, trennten sich die Wege von *Homo* und *Pan* nämlich erst vor rund 5 Millionen Jahren. Die Abstammungslinien der Gorillas und Orang-Utans zweigten dagegen schon vor 6,3 bzw. 13,8 Millionen Jahren von derjenigen der anderen drei Primaten ab.

Im neuen Stammbaum, den Goodman und seine Mitarbeiter vorschlagen, heißt der gewöhnliche Schimpanse folglich *Homo troglodytes*, und *Pan* bezeichnet nur noch die Untergattung. Als Folge dieser Umbenennung finden auch alle unsere Hominiden-Vorfahren Aufnahme in unsere Gattung, sodass zum Beispiel aus *Australopithecus afarensis* ein *Homo afarensis* wird.

Tierschützer, denen die Schimpansen schon lange als die besseren Menschen gelten, dürften den Aufstieg der Menschenaffen zu Affenmenschen begrüßen. Vielleicht versprechen sie sich davon auch, dass wir unsere neu eingemenschten Vettern demnächst besser behandeln und sie etwa vor dem in Westafrika drohenden Artentod bewahren. Doch angesichts der anderen humanitären Katastrophen auf dem Schwarzen Kontinent darf man wohl bezweifeln, ob der Gattungsname *Homo* dort das Überleben garantiert. Dazu müsste man den Oberaffen unserer eigenen Spezies erst ein bisschen mehr *sapientia* eintrichtern.

Überhaupt beschleicht mich der Verdacht, dass die Forscher wieder einmal zu homo-zentrisch gedacht haben. (Kein Wunder: Außer Goodman tragen zwei weitere Autoren der Studie die Silbe *man* im Namen!) Anstatt die Zweidrittelmehrheit der existierenden *Pan/Homo*-Arten uns zuzuschlagen, hätten sie mit mehr Berechtigung den umgekehrten Weg gehen, also *Homo* zur Untergattung degradieren und den Menschen in *Pan sapiens* umtaufen können – oder besser noch, da das mit der Weisheit nicht so weit her ist, (wert)frei nach Morris in *Pan nudus*.

Immerhin wissen wir heute, dass es nur einer geringfügigen genetischen Umprogrammierung bedurfte, um uns zu sprechenden, weitgehend unbehaarten Zweibeinern zu machen. Da könnten wir doch eigentlich – fast 150 Jahre nach Darwins »Ursprung der Arten« – langsam der haarigen Tatsache ins Auge sehen, dass uns stammesgeschichtlich keine Extrawurst gebührt.

Mögen die Geisteswissenschaftler auch aufschreien und auf unsere einmaligen kulturellen Leistungen verweisen. Dass wir mit viel Glück und Skrupellosigkeit zur Weltherrschaft gelangt sind und unterwegs gelernt haben, Wolkenkratzer zu bauen oder Opern zu schreiben, ändert nichts an unserer Position im Stammbaum des Lebens. Dort zählen nämlich nur die Gene. Da sind die Biologen beinhart.

Michael Groß

www.proseandpassion.com

BILD DES MONATS

Wespe kappt Fühler

MONIKA UND RICHARD FELLINGER

Vor fünf Jahren beobachteten die Tierfotografen Monika und Richard Fellinger aus Mettlach/Saar zufällig, wie eine Faltenwespe einer Gottesanbeterin, die gerade ihre Beute verspeiste, die Fühler abbiss. Ein solcher Angriff war bis dahin wissenschaftlich nicht beschrieben. Deshalb machte sich das Ehepaar daran, das Verhalten genauer zu untersuchen und auf Film zu bannen. Auf einem etwa fünf Ar großen Gelände in Kroatien markierte es alle Sträucher mit Gottesanbeterinnen. Die Tiere wurden regelmäßig kontrolliert und jedes, das gerade fraß, kontinuierlich observiert. Im Verlauf mehrwöchiger Kampagnen in drei Jahren ließen sich 16 Angriffe von Wespen beobachten und sechs fotografisch festhalten. Die Insekten versuchten meist zunächst einfach von der Beute mitzufressen. Wenn die Gottesanbeterin das nicht duldete, griffen sie gezielt deren Fühler an. Gelang es den Wespen, die Antennen abzubeißen, wurden sie danach nicht mehr behelligt. Offenbar hatte die Gottesanbeterin die Fähigkeit zur Nahorientierung verloren. Das obere Bild zeigt, wie die Wespe, nachdem ein Fühler gekappt ist, gerade den zweiten abbeißt. Rechts ist zu sehen, wie sie danach ungestört die Mahlzeit mit der Gottesanbeterin teilt.

Das grandiose Genom-Projekt

Geradezu aberwitzig schien vor rund 25 Jahren der Plan, in einem gewaltigen internationalen Großprojekt die 3 Milliarden Buchstaben unseres genetischen Handbuchs zu entziffern. Die Forscher setzten aber auf Fortschritt – und gewannen.

Von Pierre Tambourin

Am 14. April 2003 kam in den Medien eine Meldung, die kaum jemanden mehr überraschte: Das Ziel des Humangenom-Projekts sei vorzeitig erreicht, das menschliche Erbgut in praktisch allen Details entziffert. Die eigentliche Überraschung lag schon fast zwei Jahre zurück. Damals, am 26. Juni 2000, verkündeten die beiden Konkurrenzgruppen im Wettlauf um die Entzifferung gemeinsam den ersten Erfolg: eine »Arbeitsfassung« der menschlichen Erbgutsequenz. Wissenschaftlich publiziert wurde dieser noch lückenhafte Rohtext zwar »erst« Mitte Februar 2001. Aber immerhin – 1993, drei Jahre nach dem offiziellen Start des Humangenom-Projekts, hatten die Forscher noch fast 15 Jahre mehr anvisiert.

Wie ist dieser immense Fortschritt zu erklären? Ein kurzer Rückblick zeigt, dass die Voraussetzungen für diesen Erfolg, wie oft bei wichtigen wissenschaftlichen Durchbrüchen, in den zwanzig Jahren zuvor Schritt um Schritt erarbeitet worden waren.

Bis Mitte der 1980er Jahre hatten Forscher das elementare Instrumentarium der Gentechnologie und damit auch der Sequenzierung der Erbsubstanz DNA entwickelt (dies ist das englische Kürzel für Desoxyribonucleinsäure). Auf geeignete Werkzeuge, unter anderem einige Enzyme, waren sie bei Untersuchungen gestoßen, die zunächst keinerlei praktische Anwendung zum Ziel hatten und lediglich der Grundlagenforschung dienten. Ausgangspunkt war die Beobachtung in den 1960er Jahren, dass manche Bakterien resistent gegen Infektionen mit bestimmten Viren sind, die als Bakteriophagen – Bakterienfresser – bezeichnet werden. In den widerstandsfähigen Mikroben fanden sich schließlich Enzyme, die den Phagen buchstäblich den Lebensfaden durchtrennten: Sie zerschnitten deren DNA an genau definierten Stellen. Die Biologen nannten diese intelligenten DNA-Scheren Restriktionsendonucleasen. Auf ein weiteres überaus nützliches Enzym stießen sie 1969: die Reverse Transkriptase. Mit diesem Molekül brach ein zentrales Dogma der frühen Molekularbiologie in sich zusammen. Bis dahin galt: Der genetische Informationsfluss ist eine Einbahnstraße; an einer DNA-Sequenz wird ein chemisch ähnliches Molekül – eine RNA – hergestellt, als Abschrift für die Proteinsynthese-Maschinerie der Zelle. Das neue Enzym jedoch las umgekehrt eine RNA ab und schrieb ihre Sequenz in DNA um. Wozu aber?

Die Reverse Transkriptase wurde bei Untersuchungen mit Viren entdeckt, die RNA statt DNA als Erbgut enthalten. Anders als die üblichen RNA-Viren machten sie den Schritt zurück zur DNA. Diese »Retroviren« integrierten sich in ihrer DNA-Form in das Erbgut befallener Zellen und verursachten unter anderem bei Hühnern und Mäusen fulminant verlaufende Leukämien. Im Rahmen dieser Untersuchungen wurden 1975 auch erstmals so genannte Onkogene charakterisiert, welche die Umwandlung einer Zelle in eine Krebszelle auslösen können. Retroviren, die den Menschen infizieren, wurden aber erst später – Anfang der 1980er Jahre – entdeckt; der Aids-Erreger HIV ist eines davon.

Dank der neuen und einiger anderer enzymatischer Werkzeuge konnten die Biologen erstmals DNA-Abschnitte aus dem Genom einer beliebigen Tier- oder Pflanzenart isolieren, sie in Bakterien übertragen und im Rhythmus

SERIE

25 Jahre Spektrum DER WISSENSCHAFT

In dieser 12-teiligen Serie berichten prominente Forscher aus ihrem Fachgebiet über wissenschaftliche Highlights der letzten 25 Jahre, die aktuelle Situation und künftige Perspektiven.

Teil I: Paläoanthropologie
Teil II: String-Physik
Teil III: Gehirnforschung
Teil IV: Klimaforschung
Teil V: Mathematisches Denken
Teil VI: Ultrakalte Atome
Teil VII: Die Chemie beherrschen
Teil VIII: Entzifferung des Genoms

Im nächsten Heft
Teil IX: Informationstheorie

der bakteriellen Zellteilung identisch vermehren. Anders gesagt: Sie vermochten Gene zu klonieren. In manchen Fällen gelang es sogar, die Bakterien zur Produktion des entsprechenden Proteins zu veranlassen.

Der gentechnischen Revolution, die mit diesen grundlegenden Schritten begann, folgte kurz darauf eine weitere: Zunehmend betrieben auch Einrichtungen der Industrie molekularbiologische Forschung; die Biowissenschaften entwickelten sich zu einem bedeutsamen Wirtschaftszweig. Die neue, sehr effektive biotechnologische Produktion lieferte innerhalb weniger Stunden komplexe Substanzen, die zu isolieren mit den klassischen Mitteln der Biochemie sehr aufwendig gewesen wären und die vermutlich kein Chemiker je hätte künstlich synthetisieren können.

Davon profitierte schon bald die Medizin. Gentechnisch erzeugt wurden beispielsweise therapeutische Proteine wie das Hormon Insulin, das sich zuvor nur unter großem Aufwand aus Bauchspeicheldrüsen von Schlachttieren gewinnen ließ. Beim Wachstumshormon, das zuvor aus den Hirnanhangdrüsen Verstorbener oder aus tierischen Hypophysen isoliert werden musste, erwies sich die neue Herstellungsmethode im Nachhinein als Segen. Was man damals nicht wusste: Die alten Hormonpräparate aus menschlichem Hirngewebe waren manchmal mit Prionen verunreinigt, welche die Creutzfeld-Jakob-Krankheit verursachen. Kompliziert gebaute Biomoleküle, die im Körper in extrem geringen Konzentrationen vorkommen und deren Gewinnung daher oft sehr teuer war, ließen sich von nun ab in beliebigen Mengen und ohne das Risiko der Verunreinigung mit Krankheitserregern herstellen.

Amerikanische Extravaganzen?

Die ersten Biotechnologiefirmen entstanden Ende der 1970er Jahre vorwiegend in Kalifornien, aber auch in Europa. Kurze Zeit später jedoch wandten sich die europäischen Länder weitgehend von der Gentechnologie ab; sie erschien ihnen zu risikoreich. Man sprach von Modeerscheinungen, nutzlosen Irrwegen oder von amerikanischen Extravaganzen, sah dahinter einige einflussreiche Wissenschaftler und Mediziner am Werk. Ganz anders die Haltung der Vereinigten Staaten. Präsident Nixon hatte Ende der 1970er Jahre ein ambitioniertes Programm zum Kampf gegen Krebs aufgelegt. In Analogie zum Mondfahrtprogramm Präsident Kennedys rechneten die Amerikaner damit, Krebs bei Einsatz entsprechender Forschungsmittel binnen fünf Jahren besiegen zu können. Ein Trugschluss. Ein anderes, zunächst nicht angestrebtes Ziel jedoch erreichten die USA: Sie erarbeiteten sich in kurzer Zeit eine führende Position in den Biowissenschaften.

Die spektakulären wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Durchbrüche weckten Visionen. Wenn schon einzelne, mühsam isolierte Gene so viel versprechende Möglichkeiten boten, wie viel lohnender müsste es sein, die Information des gesamten menschlichen Genoms zu entschlüsseln? Damals erschien die Idee, die gesamte menschliche DNA-Sequenz zu bestimmen, als ein aussichtsloses Unterfangen. Die verfügbaren Methoden waren viel zu langsam, arbeitsaufwendig und ineffizient. Für die Sequenzierung des Gesamtgenoms waren daher schätzungsweise vierzig Jahre zu veranschlagen, und dies unter der Voraussetzung, dass weltweit alle entsprechend kompetenten Labors koordiniert zusammenarbeiteten. Ein weiteres schwieriges Problem: Die Forscher ▷

MICHAEL DUNNING

Symbolträchtige Doppelhelix: Mit der vollständigen Entzifferung des menschlichen Erbguts ist zwar noch nicht das Buch des Lebens entschlüsselt, aber ein Anfang ist gemacht.

Gefeiertes Genom: Die erste Arbeitsfassung, erstellt von einem internationalen Forscherkonsortium, erschien in »Nature«; die Firma Celera Genomics veröffentlichte zeitgleich dazu ihre Fassung in »Science«.

▷ vermochten nur DNA-Abschnitte, die höchstens etwa 500 Basenpaare lang waren, am Stück zu sequenzieren. Um die gesamten 3 Milliarden Basenpaare unseres einfachen Chromosomensatzes zu entziffern, würden sie es also in mindestens 10 Millionen Fragmente zerschneiden und jedes einzelne sequenzieren müssen. Zugleich galt es aber auch sicherzustellen, dass die Fragmente sich überlappten, damit die Forscher die vielen Teilsequenzen anschließend zur Gesamtsequenz zusammensetzen konnten. Zudem blieb die schlichte, aber noch nicht beantwortbare Frage: Wie lässt sich die Position der einzelnen sequenzierten Fragmente im Gesamtgenom ermitteln?

Unter den Forschern verschiedener Länder entbrannte eine hitzige Debatte um das Projekt. Es formierten sich drei Lager. Das erste sprach sich für eine Totalsequenzierung aus, das zweite warnte, dieses Großprojekt würde zu viele wertvolle Ressourcen binden. Das dritte schließlich favorisierte die alternative Strategie, nur die Boten-RNAs – die Abschriften aktiver Gene – zu sequenzieren. Ihr Argument: Viel Zeit wäre zu sparen, wenn man die nicht informationstragenden Anteile der DNA ausließe. Hätte sich das letzte Lager durchgesetzt, wäre unsere Kenntnis der menschlichen Gene im Erbgut heute höchst unvollständig, da viele Boten-RNAs nur kurzfristig oder in so winzigen Mengen synthetisiert werden, dass sie sich der Analyse wohl entzogen hätten.

Die Gegner der Sequenzierung hielten den Befürwortern entgegen, sie planten ein gigantisches, ungemein kostspieliges Projekt ohne konkretes wissenschaftliches Konzept, eine Sisyphus-Arbeit, bei der die gleichen stupiden Schritte millionenfach wiederholt werden müssten. Nicht teilzunehmen hätte andererseits jedoch mit Blick auf künftige Entwicklungen bedeutet, sich möglicherweise ins Abseits zu stellen. Außerdem stand zu erwarten, dass die Methodik sich weiterentwickelte und dass aus dem technischen Fortschritt auch grundlegend neue Erkenntnisse und Konzepte erwüchsen. In meiner Funktion als Präsident der molekularbiologischen Kommission des französischen Wissenschaftsverbundes INSERM sprach ich mich daher 1986 zusammen mit einigen Kollegen für eine Beteiligung Frankreichs an diesem Projekt aus.

Das Spektrum molekulargenetischer Methoden erweiterte sich zusehends. Eine davon, die Polymerase-Kettenreaktion (siehe Kasten rechts), veränderte die Arbeitsweise vieler Labors grundlegend. Die Idee dazu kam 1983 von Kary Mullis, der damals bei der Firma Cetus tätig war. Er fand einen Trick, wie sich mithilfe des Enzyms DNA-Polymerase beliebige DNA-Fragmente exponentiell vervielfältigen ließen. Seine äußerst effektive Methode ermöglicht eine Vervielfältigung selbst dann, wenn nur Spuren von Erbsubstanz als Ausgangsmaterial zur Verfügung stehen. Mit der Verwendung einer hitzestabilen DNA-Polymerase – sie stammt ursprünglich aus einem in heißen Quellen lebenden Bakterium – gelang es 1988, die Polymerase-Kettenreaktion zu automatisieren. Mullis erhielt für seine bahnbrechende Erfindung 1983 den Nobelpreis.

Mit Fernsehshows Spenden eingeworben

Weitere neue Techniken folgten alsbald. So ermöglichte die so genannte Pulsfeld-Elektrophorese den Forschern, große DNA-Moleküle bis etwa 100 000 Basenpaare Länge zu sortieren und zu analysieren. Ferner wurden Kenntnisse über die Struktur und Funktion von Hefe-Chromosomen genutzt, um künstliche Chromosomen herzustellen. Dadurch gelang es, in Hefezellen große DNA-Fragmente zu vermehren, als wären sie ein eigenes Chromosom.

Der technologische Durchbruch sollte in Frankreich nicht aus der öffentlichen Forschung kommen, sondern aus dem Centre d´Etude du Polymorphisme Humain (CEPH; Zentrum zur Erforschung menschlicher Polymorphismen). Diese Einrichtung hatten der Nobelpreisträger Jean Dausset und sein Schüler Daniel Cohen gegründet.

Dausset hatte für sein 1980 preisgekröntes Werk immunologische Mechanismen untersucht, die für die Abstoßung von Organtransplantaten verantwortlich sind, und 1958 als Erster die immense Vielfalt so genannter Gewebsverträglichkeits-Antigene beschrieben. Somit war eine entsprechend hohe genetische Variabilität hierfür in der Bevölkerung zu erwarten. Für seine damaligen Analysen zur Gewebetypisierung hatte Dausset allerdings ganze Zellen aus dem menschlichen Blut studiert – noch keine DNA. Der erfolgreiche Ausgang ermöglichte die Gründung des CEPH, finanziert mit öffentlichen Geldern und einer Stiftung der Kunstsammlerin Hélène Anavi. Das Institut verfügte über zahlreiche Blutproben von Mitgliedern französischer Familien. Dazu kam weiteres Material von amerikanischen Mormonen. Als Cohen von einem Forschungsaufenthalt in den USA nach Frankreich zurückkehrte, erkannte er das immense Potenzial einer direkten genetischen DNA-Analyse der Blutproben, die Dausset für seine Studien verwendet hatte.

Ein weiterer Ausgangspunkt der revolutionären Entwicklungen in Frankreich war die Association Française contre les Myopathies (AFM; Französische Vereinigung gegen Muskelerkrankungen). Ihrem Präsidenten Bernard

Barataud wie auch ihren Mitgliedern war klar, dass zur Entwicklung von Therapien gegen seltene genetisch bedingte Erkrankungen erst einmal die verantwortlichen Gene bekannt sein müssten. Erblich bedingt ist beispielsweise die Duchenne-Muskeldystrophie, deren Gen erstmals 1986 beschrieben wurde. Die Vereinigung beschloss daher, erhebliche Mittel in die Erforschung des menschlichen Genoms zu investieren. Der erste Téléthon – eine Fernsehshow, mit der Spendenmittel eingeworben wurden – war denn auch ein beispielloser Erfolg. Unter Mithilfe von Cohen, Dausset und dem CEPH baute die Vereinigung in Evry das Généthon auf, ein außergewöhnliches Institut, das auf modernste, automatisierte Prozesse und eine Vielzahl parallel arbeitender Geräte setzte. Mit dieser »Industrialisierung« der Forschung wurde die dritte Revolution innerhalb von zwanzig Jahren ausgelöst: der Übergang zur hochtechnisierten Biologie im Großmaßstab.

Unter konsequenter Nutzung der technologischen Fortschritte des vorangegangenen Jahrzehnts erreichte das Généthon ein ungeahntes Leistungsniveau – allerdings immer noch begleitet von allgemeiner Skepsis. Doch dank der Größe des Instituts mit insgesamt 150 Mitarbeitern und seiner kompetenten Leitung, an der drei renommierte Wissenschaftler aus dem universitären Sektor beteiligt waren, konnte sich Généthon im internationalen Wettbewerb behaupten. Neben Cohen war Jean Weissenbach einer der Leiter. Beide hatten sich der schwierigen Aufgabe verschrieben, die Positionen kurzer charakteristischer Sequenzen, so genannter DNA-Marker, auf den Chromosomen des menschlichen Erbguts zu bestimmen. Ihr Ziel: eine möglichst vollständige physikalische und genetische Kartierung der Human-DNA.

Bereits 1992, sechs Jahre vor dem frühesten vorausgesagten Termin, wurden die ersten Ergebnisse veröffentlicht, und 1996 erschienen in der Fachzeitschrift »Nature« umfangreiche Genkarten des menschlichen Genoms, die noch heute weltweit genutzt werden. Sie enthielten die präzisen Positionen von über 6000 Markern in der chromosomalen DNA. Unbekannte Fragmente der menschlichen DNA konnten rasch einer »Landmarke« im Genom zugeordnet werden. Wie beim Lesen einer Autokarte etwa konnte man sagen: Das fragliche Stück muss in der Nähe des markanten Punktes x liegen. Solche Karten beschleunigten die Suche nach Genen, die im Zusammenhang mit Erbkrankheiten stehen.

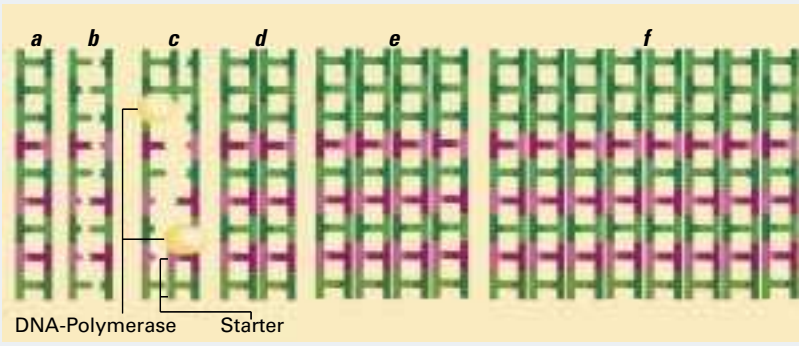
Ein Bakterium macht den Anfang

Kurz zuvor hatte sich Deutschland entschlossen, doch noch am internationalen Genom-Projekt mitzuwirken, wobei die Sequenzierung nur in der Phase I im Vordergrund stand (siehe Kasten Seite 24). In Frankreich sollte der Schwerpunkt des Nachfolgeprogramms – Généthon 2 – auf der Isolierung von Krankheitsgenen liegen. Die Vereinigung gegen Muskelkrankheiten erklärte sich bereit, all ihre im Rahmen von Généthon erarbeiteten Ressourcen zur Verfügung zu stellen, falls in Frankreich ein öffentlich gefördertes Sequenzierungszentrum eingerichtet werden sollte. Das geschah 1997. Weitere Einrichtungen folgten. ▷

Die Polymerase-Kettenreaktion

Bei der Sequenzierung des menschlichen Genoms erwies sich die Polymerase-Kettenreaktion, kurz PCR, als überaus nützlich. Wärme trennt das DNA-Fragment, das vor dem Entziffern vervielfältigt werden soll *(a)*, in seine beiden komplementären Stränge *(b)*. Daran heftet sich beim Abkühlen jeweils ein kurzes Stück passender, künstlich hergestellter DNA (Primer genannt), das im Reaktionsansatz zusätzlich enthalten ist. Es dient dem Enzym DNA-Polymerase als Startpunkt für die Synthese des zu ergänzenden Stranges *(c)*. Nach dem ersten Verdoppelungszyklus erhält man also zwei DNA-Doppelstränge aus ursprünglich einem *(d)*. Wird dieser Vorgang wiederholt, erhält man im nächsten Schritt vier Exemplare des DNA-Abschnitts *(e)*, im übernächsten acht *(f)* oder, allgemeiner gesprochen, 2^n Exemplare nach *n* Zyklen.

G. KELVIN



▷ Erstaunt über die originellen Strategien von Généthon hatten inzwischen auch amerikanische Wissenschaftler das Institut besucht und waren mit recht konkreten Vorstellungen heimgekehrt, welche Mittel zu mobilisieren wären, um das menschliche Genom zu sequenzieren. Einige wandten sich an private Investoren und versprachen die Patentierung von DNA-Sequenzen, was damals teilweise heftige Reaktionen in der Öffentlichkeit hervorrief.

Noch 1993 hieß es, dass mit der vollständigen Sequenz des Humangenoms nicht vor 2015 zu rechnen sei. Die Dinge beschleunigten sich jedoch erheblich, nachdem erste Genome von Mikroorganismen entziffert waren, darunter das des Bakteriums *Haemophilus influenzae*. Dessen DNA-Sequenz war am privaten TIGR-Institut von Craig Venter ermittelt worden. In Europa gelang es in einer Zusammenarbeit mehrerer öffentlicher Labors, die Totalsequenz des Hefeerbguts zu bestimmen. Damit waren erstmals genetische Texte mit mehreren Millionen Buchstaben vollständig bekannt.

Diese Nachrichten erregten zwar zunächst viel Aufsehen, verblassten allerdings gegenüber der Ankündigung von Venter und der Perkin-Elmer-Gruppe im Mai 1998, das gesamte menschliche Genom in weniger als drei Jahren sequenzieren zu wollen und zwar mit der gleichen Strategie, die sie bereits bei dem vergleichsweise kleinen *Haemophilus*-Genom angewandt hatten. Zu diesem Zweck sollte eine Firma namens Celera Genomics in Rockville (Maryland) mit 500 Mitarbeitern gegründet werden. Für die Wissenschaftler des akademischen Sektors bestand also die Gefahr, dass sich private Unternehmen der Sequenzdaten des Humangenoms bemächtigten. Als genetisches Erbe der Menschheit ist es aber Allgemeingut und sollte daher für die öffentliche und private Forschung gleichermaßen frei zugänglich bleiben.

Weder Sieger noch Verlierer

Die Wissenschaftler des öffentlichen Projekts intensivierten und beschleunigten daher die eigenen Forschungen. Dazu teilten sie das Genom in mehrere Partien auf, die von verschiedenen Forschungszentren sequenziert werden sollten, die meisten davon in den USA und Großbritannien. Das französische Nationale Sequenzierzentrum erhielt die Aufgabe, das Chromosom 14 zu entziffern, also etwa fünf Prozent des Gesamtgenoms. Deutsche Forscher befassten sich maßgeblich mit Chromosom 21.

Um das hoch gesteckte Ziel zu erreichen, wurden innerhalb weniger Monate alle verfügbaren Ressourcen mobilisiert. Es kam zu einem regelrechten Wettlauf zwischen Venters Celera Genomics und dem Konsortium öffentlicher Labors. Venter profitierte von den Daten, die täglich von den akademischen Instituten in die Gen-Datenbanken gestellt wurden, umgekehrt war dies jedoch nicht der Fall. Es bestand also keine Chancengleichheit, selbst wenn ein Dutzend Zentren gegen Celera Genomics antraten.

Letzten Endes gab es jedoch keine Sieger oder Verlierer. Nach der gemeinsamen Ankündigung im Juni 2000 publizierten die öffentlichen und privaten Labors ihre Arbeitsfassungen gleichzeitig im Februar 2001: die einen im Fachblatt »Nature«, die anderen in »Science«. Diese waren noch nicht ganz vollständig. Es

Das Deutsche Humangenom-Projekt

1985 wurde auf einer internationalen Konferenz in Santa Cruz (Kalifornien) erstmals konkret erwogen, das gesamte menschliche Genom, also 3,2 Milliarden Basenpaare, zu sequenzieren.

1990 startete das internationale Humangenom-Projekt. In mehr als dreißig Ländern wurden Forschungsprojekte ins Leben gerufen, die mit der Entschlüsselung von Aufbau und Funktion der gesamten menschlichen DNA begannen.

Im Juni 1995 schloss sich Deutschland als gemeinsame Initiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF), der akademischen Wissenschaft und der Wirtschaft dem internationalen Humangenom-Projekt an; 1996 nahmen die Wissenschaftler ihre Arbeit auf.

In der ersten Projektphase von 1995 – 1999 stand die Bestimmung der Basensequenzen der DNA im Mittelpunkt. Deutsche Forscher arbeiteten an der Sequenzierung der Chromosomen 2, 3, 7, 8, 9, 17, 21 und X. Maßgeblich beteiligt waren deutsche Gruppen auch an der Automatisierung der Sequenzierungsprozesse und an der Erforschung von Modellorganismen.

Anfang Mai 2000 wurde die vollständige Sequenz von Chromosom 21 veröffentlicht. Maßgeblich beteiligt waren die deutschen Sequenzierzentren der Gesellschaft für Biotechnologische Forschung Braunschweig, des Instituts für Molekulare Biotechnologie Jena und des Max-Planck-Instituts für Molekulare Genetik Berlin.

Im Juni 2000 wurde international die Arbeitsversion des Humangenoms angekündigt. Rund neunzig Prozent der genhaltigen Regionen der DNA waren bis dahin im Schnitt mindestens viermal sequenziert. Am 12. Februar 2001 feierten die Wissenschaftler die Online-Veröffentlichung dieser Sequenzdaten in weltweit parallel abgehaltenen Pressekonferenzen.

Die zweite Projektphase von 2000 – 2003 widmete sich verstärkt der Funktion der Sequenzen. Es gilt, die Bedeutung der Gene speziell unter dem Blickwinkel der medizinischen Anwendung zu erforschen. Wechselwirkungen zwischen Gen und Genprodukt sowie Erbkrankheiten stehen im Mittelpunkt.

Am 14. April 2003 schließlich wurde in Washington die vollständige Entzifferung des menschlichen Genoms verkündet, zwei Jahre früher als noch 1996 geplant. Nun liegen 99 Prozent der genhaltigen Abschnitte des menschlichen Erbgutes in einer Genauigkeit von 99,99 Prozent vor. Das bedeutet maximal einen Fehler in 10000 Buchstaben. Das verbleibende Prozent besteht aus Bereichen, die mit heutigen Technologien nicht zu analysieren sind.

Zeitgleich zur zweiten Projektphase haben sich die Aktivitäten der einschlägigen deutschen Forschung breit aufgefächert. Neben Initiativen zur Genomforschung an Pflanzen und an Mikroorganismen sowie zur Proteomforschung und Bioinformatik wird die Humangenomforschung in Zukunft im »Nationalen Genomforschungsnetz: Krankheitsbekämpfung durch Genomforschung« gebündelt sein.

gab noch einige Lücken und einige Fragmente waren noch unterschiedlich positioniert. Furore aber machte eine Zahl: Das menschliche Genom enthielt vermutlich nur etwa 30 000 Gene und nicht wie zuvor angenommen 100 000 oder gar 200 000. Damit unterscheiden wir uns in der Anzahl der Gene nicht sonderlich von der Taufliege *Drosophila* mit ihren rund 20 000 Genen. Der menschliche Organismus nutzt allerdings das begrenzte Repertoire in trickreicher Weise. Er kann daher hunderttausende Proteine produzieren, unter anderem da die Zellen die Struktur der fertigen Proteine nachträglich modifizieren. Die Sequenzierung des gesamten menschlichen Genoms stellt zwar einen Meilenstein der biologischen Forschung dar, die wahren Geheimnisse des Lebens sind jedoch nicht in der DNA-Sequenz, sondern in der komplexen Interaktion der unterschiedlichen biologischen Moleküle zu suchen.

Bekanntlich sind Menschen für Krankheiten und Alterungsprozesse unterschiedlich anfällig. Neben Lebensstil und Umwelt spielt dabei das genetische Erbe eine besonders große Rolle. Unter den zahllosen kleinen Sequenzunterschieden zwischen Menschen gilt es daher solche zu finden, die eine Disposition für bestimmte Krankheiten signalisieren. Das ist Aufgabe der so genannten Genotypisierung. Sie stützt sich auf die hochtechnisierten Methoden der modernen Biologie, darunter auch einige Sequenziertechniken.

Die Ermittlung von Genvarianten, die einen Menschen für Krebs, Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Diabetes oder neurodegenerative Erkrankungen prädisponieren, ist in mehrerer Hinsicht von Bedeutung: für ein besseres Verständnis der zugrunde liegenden Mechanismen, für neue Entwicklungen in der Arzneimittelforschung und in einigen Fällen für die Prävention der jeweiligen Erkrankung. Als regelrechte Volkskrankheiten belasten sie das Gesundheitssystem erheblich. Umgekehrt lohnt es für die Pharmaindustrie, wirksame Medikamente dagegen zu entwickeln. Daher werden in den Industrieländern trotz großer Widerstände erhebliche Anstrengungen unternommen, solche Genvarianten zu finden.

Die Identifikation eines krankheitsassoziierten Gens erlaubt die Entwicklung neuer Diagnostika und Therapeutika, etwa von Medikamenten, die mit den Produkten des Gens in Wechselwirkung treten. Sie wirft aber auch juristische und ethische Probleme auf. Ähnliches gilt für regelrechte Erbkrankheiten, wobei allerdings angesichts über 5000 bekannter solcher Erkrankungen der medikamentöse Weg äußerst ambitioniert erscheint. Alternativ könnte das Gen selbst in seiner normalen Form eingesetzt werden, um den Fehler im Genom zu beheben.

DENNIS GALANTE

Zukunftsmusik: Jeder Mensch trägt eine genetische Chipkarte mit den wichtigsten Charakteristika seines Genoms bei sich – mit Angaben, zu welchen Erkrankungen er auf Grund seiner genetischen Dispositionen neigt. Dies würden Ärzten helfen, die Krankheitsvorbeugung zu verbessern und Therapien an das genetische Profil des Patienten anzupassen.

Bei der Vereinigung gegen Muskelerkrankungen war man sich bereits 1989 einig, dass die Gentherapie für viele Erbkrankheiten die einzige Behandlungsmöglichkeit sein würde. Als Vorreiter zwar erneut unter Kritik, beschloss die Vereinigung, Fördermittel in die Erforschung solcher neuartiger Therapien zu investieren. Der erste international beachtete Erfolg erwuchs dann 1999 aus den Arbeiten von Marina Cavazzana-Calvo und Alain Fischer an der Pariser Kinderklinik Hôpital Necker-Enfants malades. Mittels Gentherapie gelang es dort, die Abwehrkräfte von Kindern, die an einem schweren Immundefekt litten, wiederherzustellen. Dann aber kam ein herber Rückschlag: Zwei der Kinder erkrankten an Blutkrebs. Die benutzte Genfähre hatte sich an einer ungünstigen Stelle ins Erbgut der Zellen integriert.

Die Untersuchung des Genoms, die Genomik, war nur das erste Feld, auf dem Forscher sich mit massiv gesteigertem technischem Aufwand eine Flut an Informationen erkämpft haben. Heute versuchen sie mit entsprechenden Methoden, alle biologischen Makromoleküle zu identifizieren, die in einem bestimmten Augenblick in einer Zelle, einem Organ oder einem ganzen Organismus vorhanden sind. Die Gesamtheit der Boten-RNAs – das Transkriptom – wird mit den Methoden der Transkriptomik untersucht, die Gesamtheit der Proteine – das Proteom – mit denen der Proteomik. Ziel der funktionellen Genomik wiederum ist die simultane Untersuchung der Aktivität vieler Gene in einem Organismus.

Diese neuen Disziplinen ermöglichen Forschern und Medizinern eine integrierte Sicht auf die Phänomene, die sie studieren. Dadurch kommen sie der Wirklichkeit des Lebens einen wichtigen Schritt näher. Von solchen funktionellen Untersuchungen sind dann letztlich auch neuartige Konzepte zu erwarten, die sich auf das Verständnis bedeutender Krankheiten wie Krebs wesentlich auswirken werden. ◁

Pierre Tambourin ist Direktor des 1989 gegründeten Campus Génopole in Evry.

AUTOR

Weblinks zu diesem Thema finden Sie bei www.spektrum.de unter »Inhaltsverzeichnis«.

Hilfsbereitschaft unter Fremden

Die Wahrscheinlichkeit, mit der Großstädter einem Unbekannten in einer Notlage beistehen, variiert beträchtlich von Ort zu Ort. Eine aufwendige Vergleichsstudie deckte erstaunliche Zusammenhänge auf.

Von Robert V. Levine

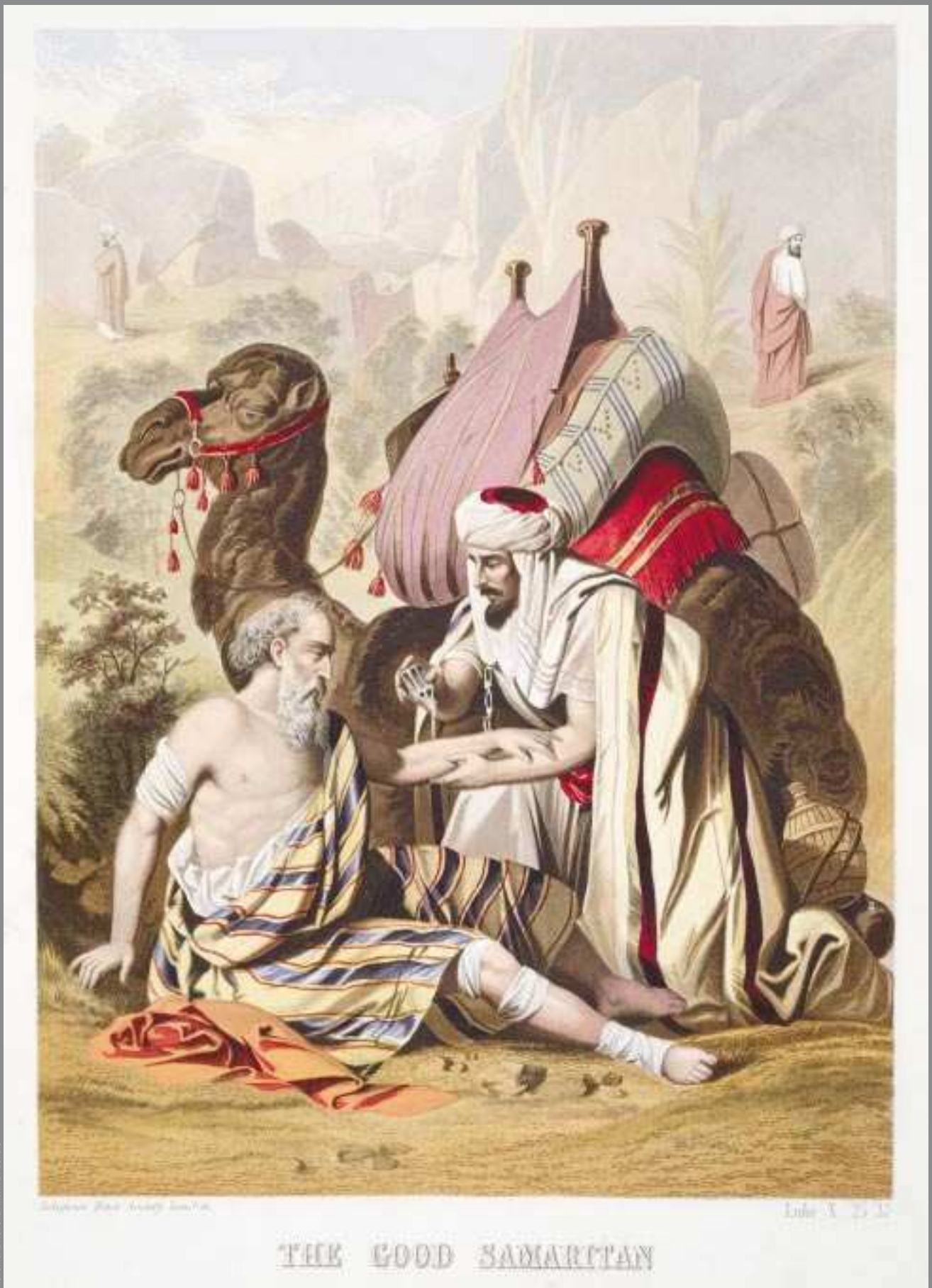
Nie werde ich eine Lektion vergessen, die mir als Kind in New York erteilt wurde. Ich war sechs Jahre alt und spazierte mit meinem Vater eine belebte Straße Manhattans entlang. Plötzlich staute sich der Strom der Fußgänger an einem Hindernis auf dem Gehsteig. Zu meinem Erstaunen entpuppte sich der Gegenstand, um den die Leute einen Bogen machten, als menschliches Wesen: Ein Mann lag bewusstlos auf dem Pflaster. Kein einziger Passant schien davon Notiz zu nehmen, dass das Hindernis ein Mensch war. Jedenfalls riskierte niemand einen direkten Blick. Während wir uns vorbeischoben, zeigte mein Vater – das Muster eines liebevollen, warmherzigen Herrn – auf eine Flasche in einem Papiersack und erklärte mir, die arme Seele auf dem Gehsteig »müsse nur einen Rausch ausschlafen«. Als der Betrunkene anfing, wirre Reden zu schwingen, warnte mein Vater mich davor, näher zu gehen: »Man weiß nie, wie er reagiert.« Bald begriff ich diese Lektion als meine erste Übung in urbanem Verhalten.

Aber viele Jahre später machte ich eine völlig andere Erfahrung auf einem Markt in Rangoon, der Hauptstadt von Birma. Ich war ein Jahr lang von einer armen Stadt Asiens zur anderen gereist, doch selbst daran gemessen herrschte hier das nackte Elend. Zu der schrecklichen Armut kamen drückende Hitze, unglaubliches Gedränge und ein kräftiger Wind, der alles mit Staub bedeckte. Auf einmal schrie ein Mann, der einen riesigen Ballen Erdnüsse schleppte, vor Schmerz auf und fiel zu Boden. Und dann wurde ich Zeuge eines erstaunlichen Balletts. Als hätten sie ihre Bewegungen viele Male geprobt, rannten mehrere Verkäufer von ihren Ständen herbei, um zu helfen, wobei sie all ihr Hab und Gut unbeaufsichtigt ließen. Einer schob eine Decke unter den Kopf des Mannes; ein anderer öffnete sein Hemd; ein dritter fragte ihn behutsam nach seinen Schmerzen aus; ein vierter holte Wasser; ein fünfter drängte die Schaulustigen zurück; ein sechster holte Hilfe. Binnen Minuten kam ein Arzt, und zwei weitere Ortsansässige assistierten ihm. Die Darbietung hätte als Abschlussprüfung an einer Schule für Sanitäter durchgehen können.

Der Philosoph Jean-Jacques Rousseau schrieb im 18. Jahrhundert, Städte seien Abgründe für das Menschengeschlecht. Doch wie meine Erlebnisse in New York und Rangoon zeigten, sind nicht alle Städte gleich. Orte haben wie Individuen ihre eigene Persönlichkeit. Welche Umgebung fördert Altruismus am meisten? In welchen Städten wird einer Person in Not am ehesten geholfen? Ich habe die letzten 15 Jahre fast ausschließlich dieser Frage gewidmet.

Meine Studenten und ich sind durch die USA und viele Länder der Welt gereist, um zu beobachten, wo Passanten einem Fremden am bereitwilligsten beistehen. In jeder der untersuchten Städte führten wir fünf verschiedene Feldversuche durch. Unsere Studien konzentrierten sich auf einfache Hilfeleistungen, die kein großes Heldentum erfordern: Wird ein unabsichtlich fallen gelassener Schreibstift von einem vorbeigehenden Fußgänger aufgehoben? Wird einem Menschen mit verletztem Bein geholfen, wenn er eine Zeitschrift vom Boden aufzuheben versucht? Wird jemand einen Blinden über eine verkehrsreiche Kreuzung geleiten? Wird jemand bereit sein, einen Vierteldollar in kleinere Münzen zu wechseln? Nehmen sich Leute die Zeit, einen adressierten und frankierten Brief, der anscheinend verloren gegangen ist, einzuwerfen? ▷

Der barmherzige Samariter – hier in einer britischen Kinderbibel des 19. Jahrhunderts – hilft einem Unbekannten, der ausgeraubt und verletzt am Straßenrand liegt, während andere Passanten im Hintergrund schleunigst das Weite suchen. Wie groß ist heute die Bereitschaft, Fremden in Not zu helfen? Wie der Autor herausfand, sind moderne »Samariter« beispielsweise in Rio de Janeiro die Regel, in New York die Ausnahme.



THE GOOD SAMARITAN

HISTORICAL PICTURE ARCHIVE / CORBIS

Unsere ersten Untersuchungen führten wir Anfang der 1990er Jahre durch. Meine Studenten und ich besuchten 36 Städte unterschiedlicher Größe in verschiedenen Regionen der USA. Die Resultate bestätigten meine Kindheitseindrücke von New York. In einer kombinierten Auswertung der fünf Experimente landete New York City auf dem allerletzten Platz. Wenn wir noch ein sechstes Maß für anonyme Hilfsbereitschaft hinzufügten – Pro-Kopf-Beitrag zur privaten Hilfsorganisation United Way –, kletterte New York bloß auf den vorletzten Platz. Insgesamt fanden wir, dass die Menschen in den kleinen und mittelgroßen Städten des Südostens der USA am meisten Hilfsbereitschaft zeigten, während die Bewohner der großen Städte im Nordosten und an der Westküste am schlechtesten abschnitten.

Auf Grund der zahlreichen untersuchten Orte konnten wir erkennen, wie gewisse soziale, wirtschaftliche und umweltbedingte Faktoren mit unseren Versuchsergebnissen korreliert waren. Wie wir herausfanden, ist der bei weitem beste Indikator die Bevölkerungsdichte. Dieser Parameter ist enger mit der Hilfsbereitschaft einer Stadt verbunden als die Verbrechensrate, das Tempo des täglichen Lebens, die vorherrschenden wirtschaftlichen Bedingungen oder Umweltbelastungen wie Lärm und Luftverschmutzung. Wir konnten leicht nachweisen, dass im Durchschnitt die Menschen in besonders dicht bevölkerten Städten sich viel seltener Zeit nehmen zu helfen. New York war das beste Beispiel.

Der Autor untersuchte systematisch die Hilfsbereitschaft in Hauptstädten rund um den Erdball. Eine erste Studie von 1994 beschränkte sich auf Städte in den USA (gelb), eine zweite Untersuchung erfasste 23 Städte in aller Welt (rot). In einigen musste die Datenerhebung abgebrochen werden (blau).

Gemeinsinn im Kulturvergleich

Dieses Ergebnis ist natürlich leicht zu verstehen. Gedränge bringt unsere schlechtesten Eigenschaften zum Vorschein. Urbanisierungskritiker betonten stets, dass das Zusammenquetschen allzu vieler Menschen auf allzu kleinem Raum paradoxerweise zu Entfremdung, Anonymität und sozialer Isolation führt. Letztlich fühlen sich die Leute weniger verantwortlich für ihr Verhalten gegen andere – insbesondere gegen Fremde. Früheren Forschungen zufolge sind Stadtbewohner eher bereit, einander Schaden zuzufügen. Unsere Studie zeigte, dass sie auch weniger bereit sind, einander Gutes zu tun, und dass diese Apathie mit dem Grad der Beengung zunimmt.

Aber entsprechen alle Städte diesem Muster? Dass dicht gepackte Städte wie New York nicht so viel Gemeinsinn zeigen wie kleine Gemeinden im Südosten und Mittleren Westen, ist keine große Überraschung, doch wie mein Erlebnis in Rangoon zeigt, stößt man selbst in den größten Städten auf Inseln dörflichen Zusammenhalts. Inwieweit ähneln sich Großstädter aus verschiedenen Ländern?

Um diese Frage zu beantworten, führten Ara Norenzayan und mehr als zwanzig weitere abenteuerlustige Studenten meiner Universität mit mir fünf separate Experimente in Großstädten rund um den Globus aus. Alles in allem stellten wir fast 300-mal die Hilfsbereitschaft auf die Probe: Wir täuschten Blindheit vor, ließen mehr als 400 Schreibstifte fallen, sprachen rund 500 Leute an, während wir vorgaben, ein verletztes Bein zu haben oder Kleingeld zu brauchen, und verloren absichtlich fast 800 Briefe. In den USA wählten wir für dieselben fünf Experimente New York aus.

Psychologen, die ausgeklügelte Feldversuche anstellen, wissen genau, dass ein fehlgeschlagenes Experiment manchmal ebenso aufschlussreich ist wie ein gelungenes. Ganz in diesem Sinne entdeckten wir rasch, dass Messverfahren für Hilfsbereitschaft sich nicht immer glatt von einer Kultur auf die andere übertragen lassen. Vor allem zwei Experimente – um Kleingeld bitten und Briefe verlieren – funktionieren in vielen Ländern nicht so wie in den USA.

Die meisten Schwierigkeiten bereitete der Test mit dem verlorenen Brief. Dabei ließen wir frankierte und adressierte

ALLE GRAFIKEN: AMERICAN SCIENTIST

Eine Versuchsreihe zur Messung der Hilfsbereitschaft

Drei Tests für die Bereitschaft, einem Fremden zu helfen, ließen sich einigermaßen gut in allen untersuchten Kulturen durchführen. Im ersten Test ließ der Experimentator vor den Augen eines Passanten scheinbar unabsichtlich einen Schreibstift fallen (links). Wenn der Passant ihn auf den verlorenen Stift aufmerksam machte, wurde dies als positives Resultat vermerkt. Auf diese Weise wurden insgesamt 424 Personen getestet. Beim zweiten Test hinkte der Versuchsleiter mit geschientem Bein, ließ vor einem näher kommenden Passanten mehrere Zeitschriften fallen und mühte sich vergeblich, sie aufzuheben (Mitte). Dieser Test erfasste 493 Personen. Im dritten Test täuschte der Experimentator Blindheit vor und wartete bei Grün an einer belebten Kreuzung, bis ein Passant ihm Hilfe anbot (rechts). Dieser Versuch wurde 281-mal durchgeführt.

Kuverts gut sichtbar auf der Straße liegen und maßen später den Prozentsatz der zugestellten Briefe. Ein Problem war, dass in einigen Städten die Leute buchstäblich vor den Briefen davonrannten. Vor allem in Israels Hauptstadt Tel Aviv, wo unbestellte Päckchen nur zu oft Bomben enthalten, mieden die Menschen ganz bewusst unsere verdächtig wirkenden Kuverts. In El Salvador erfuhr unser Versuchsleiter von einem gängigen Trick mit absichtlich verstreuten Briefen: Sobald ein guter Samariter einen aufhob, tauchte ein Ganove auf und behauptete, er habe den Brief verloren, in dem angeblich viel Geld gewesen sei. Dann verlangte der Gangster den fiktiven Betrag so drohend zurück, dass der ehrliche Finder aus eigener Tasche bezahlte und natürlich nie wieder einen fremden Brief anrührte.

In vielen Entwicklungsländern werden Briefkästen nicht geleert oder fehlen einfach. Um einen Brief aufzugeben, muss man, statt ihn an der nächsten Ecke einzuwerfen, zum Postamt gehen. In Tirana, der Hauptstadt Albaniens – wo wir schließlich den Feldversuch ganz abbrachen –, riet man uns von dem Experiment ab, weil selbst im Postamt aufgegebene Briefe selten ihr Ziel erreichen. Natürlich ist unzuverlässige Postzustellung auch in einigen reicheren Ländern ein Störfaktor. Doch das größte Problem war, dass in mehreren Ländern der Briefverkehr für die meisten Einwohner keinerlei Bedeutung hat. Im Nachhinein hätten wir die Versuche weniger ethnozentrisch planen sollen. Was darf man schließlich von einem Land wie Indien erwarten, in dem 52 Prozent nicht lesen und schreiben können?

Knapp bei Kasse

Auch das Experiment mit der Bitte um Kleingeld erwies sich als schlecht übertragbar. In den USA bat der Experimentator einen Entgegenkommenden, ihm einen Vierteldollar zu wechseln, in anderen Ländern eine vergleichbare Summe. Doch wie wir erfahren mussten, war in vielen Teilen der Welt die Nachfrage nach bestimmten Münzen auf Grund der Inflation und des Gebrauchs von Telefonkarten verschwunden. In Tel Aviv zum Beispiel schien niemand zu verstehen, warum ein Mensch Kleingeld braucht. In Kalkutta – das sich jetzt offiziell Kolkata nennt – hatte unser Versuchsleiter Schwierigkeiten, überhaupt jemanden zu finden, der geringwertige Scheine und Münzen besaß, denn sie waren zu der Zeit in ganz Indien rar.

In Buenos Aires, der Hauptstadt des wirtschaftlich gebeutelten Argentinien, fragten wir uns, wie wir die Reaktion eines Mannes bewerten sollten, der sagte, er sei so bankrott, dass er uns nicht einmal Kleingeld herausgeben könne. In einigen Städten scheuten sich die Menschen, mit Fremden überhaupt Geld zu tauschen. In Kiew – einer weiteren Stadt, wo wir die Datenerhebung abbrachen – sind die Diebe so unverschämt, dass Besucher davor gewarnt werden, auf der Straße die Brieftasche zu öffnen.

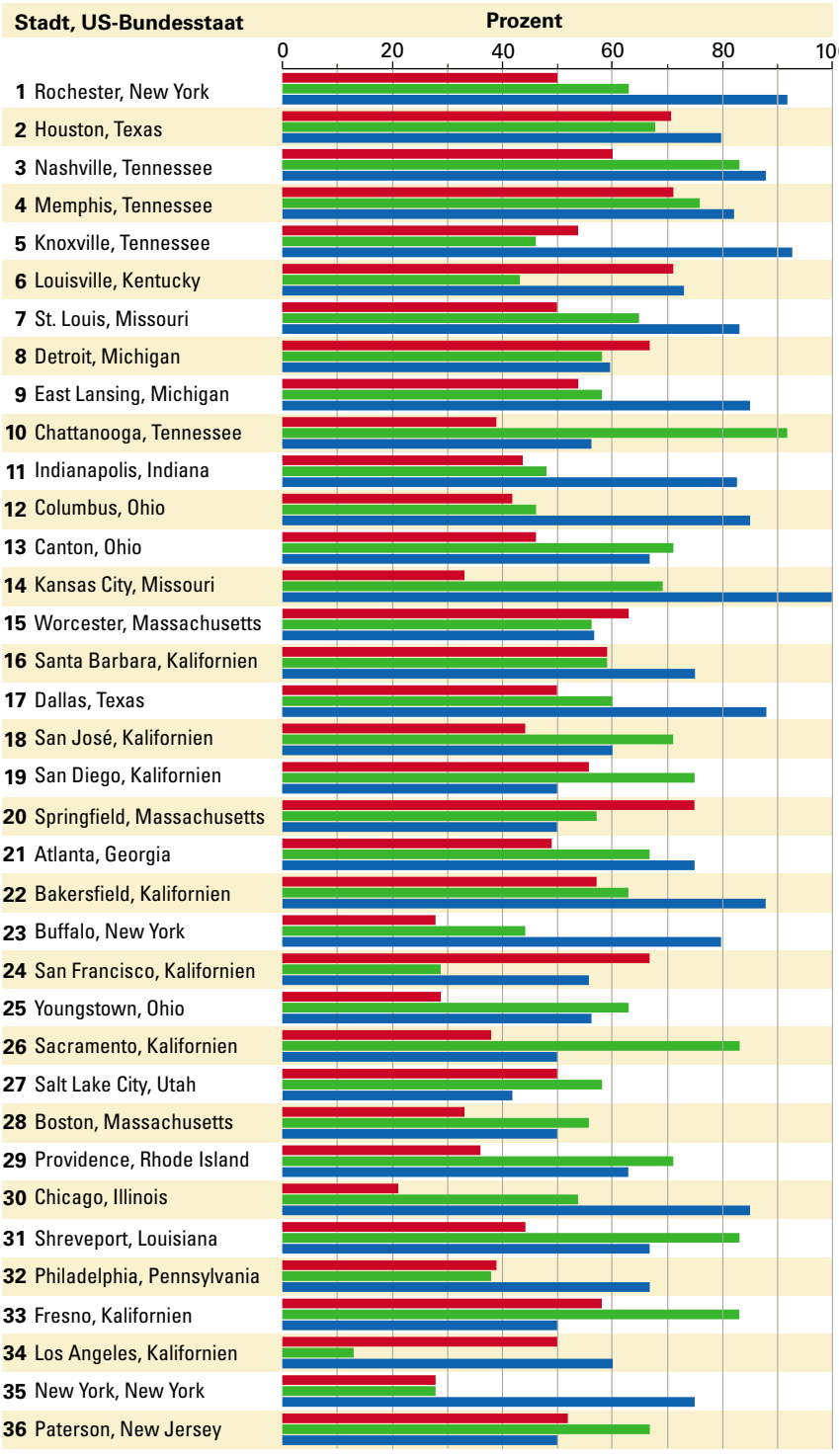
Schließlich beschränkten wir uns auf die Tests, bei denen der Experimentator vorgab, blind zu sein, ein verletztes Bein zu haben oder einen Schreibstift zu verlieren. Selbst diese Situationen ließen sich manchmal nicht ohne weiteres von einem Land aufs andere übertragen. Bei den Versuchen mit dem verletzten Bein zum Beispiel fanden wir heraus, dass eine Beinschiene manchmal nicht ausreichte, Sympathie zu wecken. Wie unser Experimentator Widyaka Nusapati aus Jakarta berichtete, nehmen die Leute dort normalerweise eine kleinere Verletzung nicht ernst genug, um zu helfen. Offenbar – so Nusapati – hätte ihm ein Bein fehlen müssen, damit der Test funktionierte.

In manchen Städten wie Tokio erzeugen die Verkehrsampeln akustische Signale, damit Sehbehinderte wissen, wann sie sicher über die Straße gehen können. Das macht es unwahrscheinlicher, dass ein Blinder beim Überqueren des Zebrastreifens Hilfsbereitschaft weckt. Die Person, die den Versuch in Tokio durchführte, fühlte sich von dem in Japan herrschenden Wohlverhalten sogar derart unter Druck gesetzt, dass sie es fast unmöglich fand, Blindheit oder Gehbehinderung vorzutäuschen, um wohlmeinen- ▷

▷ de Helfer anzulocken. Darum konnte Tokio letztlich nicht in unsere Rangliste aufgenommen werden.

Trotz dieser Schwierigkeiten führten wir die drei Tests erfolgreich in 23 unterschiedlichen Ländern durch – und somit die bislang größte internationale Vergleichsstudie zum Thema Helfen. Sie offenbarte enorme Unterschiede in der Bereitschaft von Städtebewohnern, auf Unbekannte zuzugehen. Beim Blindentest zum Beispiel halfen Fremde in fünf Hauptstädten – Rio de Janeiro (Brasilien), San José (Costa Rica), Lilongwe (Malawi), Madrid (Spanien) und Prag (Tschechien) – dem Fußgänger bei jeder Gelegenheit über die Straße, während in Kuala Lumpur (Malaysia) und Bangkok (Thailand) nur in weniger als der Hälfte aller Fälle Hilfe angeboten wurde. Mit einem verletzten Bein wird einem in San José, Kalkutta (Indien) oder Shanghai (China) dreimal häufiger beim Aufheben einer Zeitschrift geholfen als auf den Straßen von New York oder Sofia (Bulgarien). Und wenn man seinen Stift in New York verliert, ist die Chance, ihn jemals wiederzusehen, dreimal geringer als in Rio.

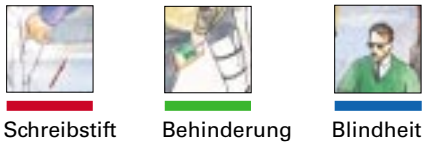
Die beiden Spitzenplätze liegen in Lateinamerika: Rio und San José. Insgesamt erwiesen sich Städtebewohner aus dem hispanischen (spanisch-portugiesischen) Kulturkreis als besonders hilfsbereit: Madrid, San Salvador und Mexico City lagen weit über dem Durchschnitt. Wenn man bedenkt, dass mehrere dieser Orte seit langem unter politischen Unruhen, hoher Kriminalität und anderen sozialen, ökonomischen und ökologischen Übeln leiden, erscheinen die Resultate höchst bemerkenswert.



»Simpático«

Der Sozialpsychologe Aroldo Rodrigues, der gegenwärtig mit mir an der California State University in Fresno zusammenarbeitet, lehrte zuvor viele Jahre an Universitäten in Rio, der hilfsbereitesten Stadt überhaupt. Er war von unseren Ergebnissen nicht überrascht: »In Brasilien gibt es das wichtige Wort *simpático*«, erklärt Rodrigues. »Es bezeichnet eine Vielfalt positiver sozialer Eigenschaften – freundlich, nett, angenehm und gutmütig sein. Mit einem solchen Menschen umzugehen macht einfach Spaß. Wohlgemerkt, *simpático* bedeutet nicht unbedingt, dass der Betreffende ehrlich ist oder moralisch handelt. Es ist eine soziale Eigenschaft. Brasilianer, insbesondere die Cariocas (die Einwohner von Rio), möchten sehr gern als *simpático* gelten – und dazu gehört nun einmal, dass man sich Mühe gibt, Fremden beizustehen.« Dieses soziale Vorbild ist nicht nur in Brasilien wirksam: *Simpático* zu sein gilt

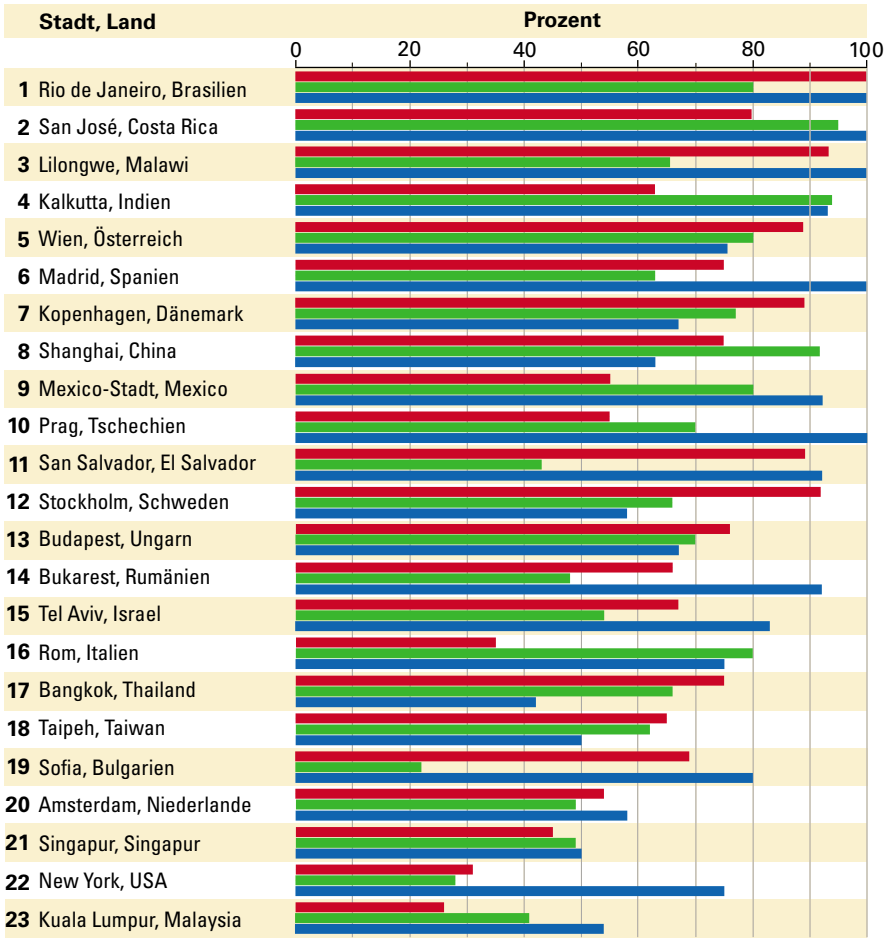
1994 ließ der Autor die Hilfsbereitschaft in 36 Städten der USA messen. Die Rangfolge beruht auf fünf Tests und dem Pro-Kopf-Spendenaufkommen für eine private Hilfsorganisation. Für jede Stadt sind die Resultate der drei im vorigen Bild skizzierten Tests angegeben: verlorener Stift (rot), Gehbehinderung (grün) und Blindheit (blau).



auch in den anderen hispanischen Kulturen, die wir untersuchten, als höchst erstrebenswert.

Es gab andere deutliche Trends, obwohl jeder seine Ausnahmen hatte. Die Häufigkeit freundlicher Hilfsakte lag höher in Ländern mit geringer Wirtschaftskraft – das heißt mit niedrigem Pro-Kopf-Inlandsprodukt und somit wenig Kaufkraft –, in Städten mit langsamem Lebensrhythmus – gemessen durch die Geschwindigkeit der Fußgänger – und in Kulturen, die den Wert sozialer Harmonie betonen. Dieses »Persönlichkeitsprofil« der Städte passt zur *Simpático*-Hypothese. In Gemeinden, wo soziale Verpflichtungen Vorrang vor individueller Leistung haben, sind die Menschen im Schnitt wirtschaftlich weniger produktiv, zeigen aber mehr Bereitschaft, anderen zu helfen.

Dieser Trend galt allerdings nicht für alle Städte in unserer Studie. Die Fußgänger in Kopenhagen und Wien, schnelllebigen Städten der Ersten Welt, waren sehr freundlich zu Fremden, während Passanten in Kuala Lumpur, wo das Leben langsamer lief, sich überhaupt nicht hilfsbereit zeigten. Wie diese Ausnahmen zeigen, können selbst Städter mit hohem Lebenstempo und wirtschaftlichem Leistungsdruck Zeit für Fremde in Not finden. Umgekehrt ist ein langsamer Lebensstil keine Garantie dafür, dass die Leute ihre freie Zeit in die Verwirklichung sozialer Ideale investieren.



Diese Rangordnung von Hauptstädten in aller Welt reicht vom besonders hilfsbereiten Rio de Janeiro bis zum Schlusslicht Kuala Lumpur. Darin kommen starke kulturelle Unterschiede zum Ausdruck.

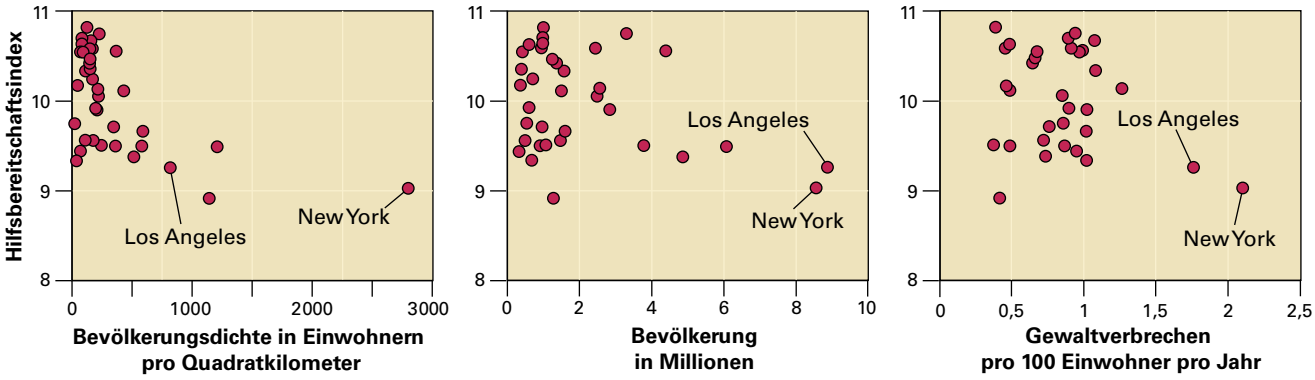
Unhöfliche Helfer

Wie zuvor im inneramerikanischen Städtevergleich machten die New Yorker auch in der internationalen Studie eine auffallend schlechte Figur: Sie wurden unter 23 Weltstädten Vorletzte, wenn es darum ging, einen verlorenen Stift aufzuheben oder einer am Bein verletzten Person zu helfen. Wenn es galt, einem Blinden über die Straße zu helfen, erreichten sie mit Platz 13 wenigstens fast Mittelmaß.

Wir erlebten auch, dass es einen Unterschied zwischen Helfen und Höflichkeit geben kann. Dort, wo die Leute schnell gehen, benehmen sie sich, selbst wenn sie Unterstützung anbieten, weniger höflich. In New York war die Hilfe oft mit besonders scharfer Distanzierung verbunden. Beim Experiment mit dem verlorenen Schreibstift riefen hilfswillige New Yorker dem Tester in der Regel zu, er habe seinen Stift verloren, und suchten schleunigst das Weite. Hingegen überreichten Helfer im lässigen Rio – wo Dahinschlendern und *simpático* zum Lebensstil gehören – den Stift meist persönlich, wofür sie manchmal dem Experimentator sogar eigens hinterherliefen. Beim Test mit dem Blinden warteten hilfswillige New Yorker oft, bis die Ampel grün zeigte, gaben wortkarg bekannt, dass der Übergang jetzt sicher sei, und gingen schnell voran. In den freundlicheren Städten boten Helfer häufiger an, den Experimentator über die Straße zu führen, und fragten manchmal, ob er weitere Unterstützung brauche. Unsere Tester hatten an solchen Orten sogar das Problem, dass sie besonders fürsorgliche Fremde kaum wieder loswurden.

Im Allgemeinen möchten New Yorker anscheinend nur dann Hilfe anbieten, wenn sie sicher sein können, dass daraus kein weiterer Kontakt folgt – als wollten sie sagen: »Ich erfülle meine soziale Verpflichtung, aber mach dir nichts vor, dann trennen sich unsere Wege.« Ob hinter dieser Haltung Furcht steckt oder einfach der Wunsch, keine Zeit zu verlieren, ist schwer zu sagen. Doch in hilfsbereiten Städten wie Rio erschien uns oft der menschliche Kontakt als das eigentliche Motiv. Die Leute leisteten Hilfe häufig mit einem Lächeln und freuten sich sichtlich über das Dankeschön.

Ein besonders drastisches Beispiel für unhöfliches Helfen ereignete sich im Laufe der – letztlich abgebrochenen – Versuchsreihe mit verlorenen Briefen. In vielen Städten empfing ich Kuverts, die sichtlich geöffnet worden waren. In fast all diesen Fällen hatte der Finder den Brief wieder zugeklebt oder in einem neuen Umschlag aufgegeben. Manchmal lag eine Notiz bei, in der sich der Finder für das Öffnen unseres Briefs entschul- ▷



Welche Gründe hat die unterschiedliche Hilfsbereitschaft? Die Daten aus amerikanischen Städte legen einen Zusammenhang mit der Bevölkerungsdichte nahe: Städte mit mehr als 500 Einwohnern pro Quadratkilometer zeigen wenig Hilfsbereitschaft (links). Zwei unfreundliche Städte, New York und Los Angeles, sind außerdem besonders groß (Mitte) und weisen hohe Gewaltkriminalität auf (rechts). In den übrigen untersuchten Städten lässt sich kein Zusammenhang zwischen Größe oder Kriminalität und Hilfsbereitschaft feststellen.

▷ digte. Nur aus New York empfing ich ein seitlich aufgerissenes und offen gelassenes Kuvert. Auf die Rückseite des Briefs hatte der Helfer auf Spanisch gekritzelt: »Hijo de puta ir[r]esposable« – offenbar eine üble Beleidigung, die meine Mutter einschloss. Darunter stand ein gängiger Fluch, für den ich keinen Übersetzer brauchte. Es ist interessant, sich diesen wütenden New Yorker vorzustellen, wie er auf dem Weg zum Briefkasten meine Verantwortungslosigkeit verflucht und doch aus irgendeinem Grund den Zwang verspürt, sich die Zeit zu nehmen, seine soziale Verpflichtung für einen Unbekannten zu erfüllen, den er bereits hasst. Ironischerweise zählte dieser unhöflich weitergeleitete Brief in den New Yorker Daten als positive Hilfsmaßnahme. Eine äußerst *antipático* Testperson, würden die Brasilianer sagen.

Ganz anders in Tokio: Dort stellten mehrerer Finder die Briefe sogar persönlich zu. Und aus Rochester, der gemäß unserer früheren Untersuchung freundlichsten Stadt der USA, empfing ich folgende Notiz auf der Rückseite eines weitergesandten Briefs:

»Hallo. Ich fand das unter meinem Scheibenwischer mit einer Notiz, dass es neben meinem Auto gelegen hat. Erst hielt ich es für einen Strafzettel. Ich werfe es am 19. 11. in den Briefkasten. Sagen Sie dem Absender, es wurde auf der Brücke Nähe Bücherei und South Avenue Garage um ca. 17 Uhr am 18. 11. gefunden.

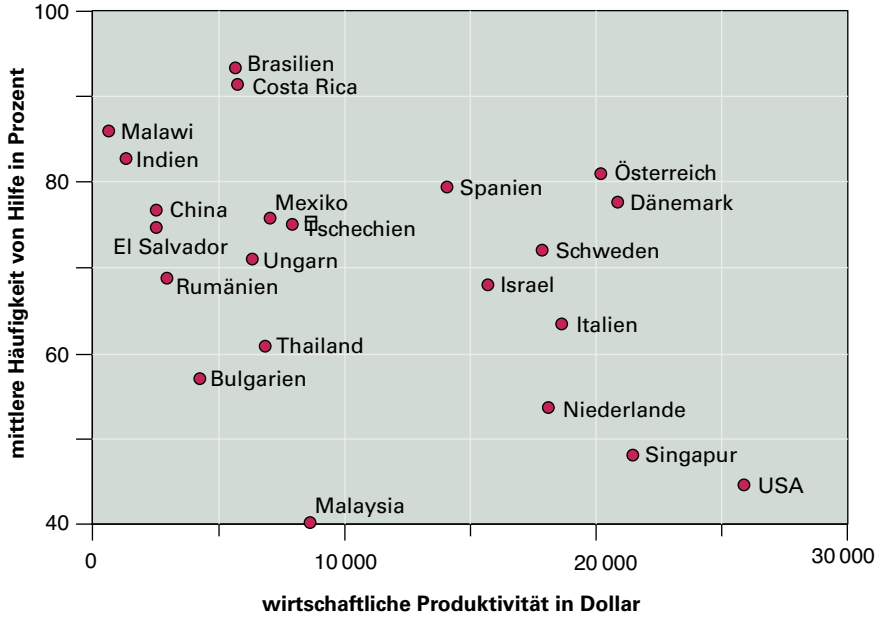
PS: Sind Sie mit Levines in New Jersey oder Long Island verwandt? L. L.«

Bedeuten unsere Resultate, dass New Yorker an sich hartherziger sind als die Bewohner anderer Städte? Keineswegs. Die New Yorker, mit denen wir sprachen, nannten viele gute Gründe für ihre geringe Bereitschaft, Fremden zu helfen.

Die soziale Kälte großer Städte

Den meisten war wie mir früh beigebracht worden, dass es gefährlich sein kann, auf Leute zuzugehen, die man nicht kennt. Um in New York zu überleben – hieß es –, sollte man allem irgendwie Verdächtigen aus dem Weg gehen.

Manche äußerten auch die Sorge, dass andere vielleicht keine unerbetene Hilfe wollten, dass der Fremde seinerseits Außenkontakte fürchte oder sich davon gönnerhaft behandelt oder beleidigt fühle. Viele erzählten, sie seien für den Versuch zu helfen regelrecht misshandelt worden. Eine Frau beschrieb eine Begegnung mit einem gebrechlichen Greis, der einen Stock vor sich hielt und anscheinend unfähig war, eine Kreuzung zu überqueren. Als sie höflich Hilfe anbot, polterte er: »Wenn ich Hilfe will, bitte ich darum. Kümmern Sie sich um Ihren eigenen Dreck.« Andere berichteten, sie seien oft genug von Gaunern hereinge-



Die wirtschaftliche Produktivität scheint Einfluss auf die Hilfsbereitschaft zu haben. In Ländern mit geringer Wirtschaftskraft – gemessen als kaufkraftbereinigtes Pro-Kopf-Bruttoinlandsprodukt – ist die Hilfsbereitschaft am höchsten. Hingegen liegen Länder mit hoher Produktivität im unteren Bereich. Die Punkte repräsentieren die größten Städte des jeweiligen Landes.

legt worden. Ein Nicht-Helfer erklärte: »Die meisten New Yorker haben falsche Blinde und falsche Lahme erlebt und sind von Geisteskranken oder aggressiven Obdachlosen zumindest verbal attackiert worden. Das macht einen nicht unbedingt immun oder abgebrüht, aber jedenfalls vorsichtig.«

Immer wieder haben uns New Yorker gesagt, sie hätten tiefes Mitgefühl mit den Nöten anderer, aber die Härte des Stadtlebens würde ihnen verbieten, Fremden die Hand zu reichen. Die Leute sprachen nostalgisch von früher, als sie ohne weiteres Anhalter mitgenommen oder einem hungrigen Fremden eine Mahlzeit verschafft hatten. Viele äußerten Kummer oder gar Zorn, weil das heutige Leben ihnen die Befriedigung vorenthalte, sich als barmherzige Samariter zu fühlen.

Diese Erklärungen mögen einfach die Rationalisierungen liebloser Städter sein, die versuchen, sich besser zu machen, als sie sind. Aber das glaube ich nicht. Alle Indizien deuten darauf hin, dass Helfen weniger vom Wesen der ansässigen Menschen abhängt als von den Eigenschaften der unmittelbaren Umgebung. Wie Untersuchungen zeigen, können scheinbar geringfügige Änderungen der Situation das Helfen drastisch beeinflussen – ungeachtet der Persönlichkeit oder Moral der beteiligten Menschen. Nachweislich hat der Ort, an dem man aufgewachsen ist, weniger mit Helfen zu tun als der gegenwärtige Wohnort. Mit anderen Worten, Brasilianer und New Yorker werden gleichermaßen in Ipanema hilfsbereiter sein als in Manhattan.

Helfen lernen

Dennoch sollte man die Hoffnung auf zivile Umgangsformen in Städten wie New York und Kuala Lumpur nicht aufgeben. Gerade weil die typischen Umstände sich mancherorts gegen das Helfen auswirken, lässt es sich umgekehrt durch Beeinflussen der Umgebung auch fördern. Wie Experimente gezeigt haben, wächst die Hilfsbereitschaft, wenn die für viele Städte typische Anonymität und Verantwortungslosigkeit beseitigt wird – etwa durch Steigern der persönlichen Identifizierbarkeit oder indem die Leute einfach dazu gebracht werden, einander mit ihrem Namen anzusprechen.

In einem 1975 an einem New Yorker Badestrand durchgeführten Experiment fand Thomas Moriarity, damals Sozialpsychologe an der New York University,

dass nur zwanzig Prozent der Zuschauer intervenierten, wenn ein Mann – in Wirklichkeit ein Versuchsleiter – vor aller Augen ein Kofferradio von einem zeitweilig verlassenen Badetuch stahl. Doch wenn die Eigentümerin einfach die Strandnachbarn bat, ein Auge auf ihr Radio zu haben, während sie fort war, schritten 95 Prozent derer, die zugestimmt hatten, gegen den Diebstahl ein.

Auch das Erzeugen eines gewissen Schuldgefühls – indem man den Leuten bewusst macht, dass sie mehr tun könnten – scheint Wirkung zu zeigen. Vielleicht am meisten verspricht die Tatsache, dass Helfen wirksam gelehrt werden kann. Wie Psychologen herausgefunden haben, neigen Kinder, denen im Fernsehen altruistische Charaktere vorgeführt werden, dazu, diese nachzuahmen. Und weil auch im wirklichen Leben vorbildlich soziales Verhalten oft ansteckend wirkt, tendiert jede Zunahme an Hilfsbereitschaft dazu, sich selbst zu verstärken.

Könnte ein freundlicheres Milieu letzten Endes die Hilfsbereitschaft der New Yorker erhöhen? Immerhin führt diese Stadt einen für die gesamten USA gültigen Trend an und erfreut sich gegenwärtig einer Welle sinkender Kriminalität: Der Statistik zufolge fügen weniger New Yorker einander Verletzungen zu als in der jüngsten Vergangenheit. Könnte weniger Furcht vor Straßenkriminalität mehr Menschen veranlassen, einander Hilfe anzubieten – auch Fremden? Unsere Experimente behandeln zeitliche Veränderungen nicht, aber ich vermute, dass sich wenig ändern wird. Aus der geringeren Anzahl von Übeltätern folgt schließlich nicht unbedingt, dass mehr Altruismus praktiziert wird. Und ich habe wenig Zweifel, dass der Betrunkene, um den die Passanten einen Bogen machten, als ich sechs Jahre alt war, heutzutage noch weniger Hilfe von einem Fremden zu erwarten hätte.

Vor einem Jahrhundert dachte der Schriftsteller John Habberton vielleicht an die New Yorker, als er schrieb: »Nirgends in der Welt gibt es mehr hilfsbereite Herzen mit reichlich Geld im Hintergrund als in großen Städten, und doch gibt es nirgends sonst mehr Leid.« Vielleicht leben dort barmherzige Samariter in großer Zahl, verstecken sich aber hinter schützenden Wänden. Für Fremde, die Hilfe brauchen, würde das wenig Unterschied machen, denn Gedanken sind weniger wichtig als Taten. ◁

Robert V. Levine promovierte 1974 an der New York University. Er lehrt und forscht seit dreißig Jahren an der Psychologie-Abteilung der California State University in Fresno. Neben zahlreichen Fachartikeln hat Levine zwei populärwissenschaftliche Bücher veröffentlicht, zuletzt »The Power of Persuasion: How We're Bought and Sold«.

© Robert V. Levine; zuerst erschienen im American Scientist Magazine (www.americanscientist.org)

Cross-cultural Differences in Helping Strangers. Von R. V. Levine et al. in: Journal of Cross-cultural Psychology, Bd. 32, S. 543 (2001).

The Pace of Life in 31 Countries. Von R. V. Levine und A. Norenzayan in: Journal of Cross-cultural Psychology, Bd. 30, S. 178 (1999).

A Geography of Time. Von R. V. Levine. Basic Books, New York 1997.

Helping in 36 U.S. Cities. Von R. V. Levine et al. in: Journal of Personality and Social Psychology, Bd. 67, S. 69 (1994).

AUTOR UND LITERATURHINWEISE

Parallel-universen

Nicht nur in Science-Fiction-Romanen ist unser Universum bloß eines unter vielen. Auch ernst zu nehmende kosmologische Theorien und Interpretationen der Quantentheorie postulieren parallele Welten.

Von Max Tegmark

Gibt es eine Kopie von Ihnen, die gerade diesen Artikel liest? Jemand, der nicht Sie selbst ist, aber auf einem Planeten namens Erde lebt, mit blauen Ozeanen, schneebedeckten Bergen, fruchtbaren Feldern und großen Städten, Teil eines Sonnensystems mit acht weiteren Planeten? Das Leben dieser Person war bisher in jeder Hinsicht mit Ihrem identisch. Aber vielleicht entscheidet er oder sie sich gerade, diesen Artikel wegzulegen, während Sie weiterlesen.

Die Idee eines solchen Doppelgängers erscheint seltsam und unglaubwürdig – aber offenbar müssen wir uns mit diesem Gedanken anfreunden, denn astronomische Beobachtungen sprechen dafür. Aus dem einfachsten – und neuerdings wieder favorisierten – kosmologischen Modell folgt, dass in einer ungefähr 10 hoch 10^{28} Meter entfernten Galaxie ein Zwilling von Ihnen lebt. Zwar sprengt diese Entfernung alle astronomischen Maßstäbe, aber darum ist Ihr Doppelgänger nicht weniger real. Die Schätzung beruht auf einer einfachen Wahrscheinlichkeitsüberlegung und kommt ohne spekulative moderne Physik aus.

Den astronomischen Beobachtungen zufolge ist der Weltraum unendlich – oder zumindest genügend groß – und fast gleichmäßig von Materie erfüllt. In einem unendlich großen Raum müssen sogar die unwahrscheinlichsten Dinge irgendwo geschehen. Es gibt eine unendliche Anzahl anderer bewohnter Planeten, und nicht nur auf einem, sondern auf unendlich vielen davon leben Menschen, die genauso aussehen wie Sie, genauso heißen und dieselben Erinnerungen haben. Diese Menschen verwirklichen jede mögliche Variante Ihrer Lebensentscheidungen.

Höchstwahrscheinlich werden Sie Ihre Doppelgänger nie zu Gesicht bekommen. Man vermag maximal die 14 Milliarden Lichtjahre weit zu sehen, die das Licht seit dem Urknall zurückgelegt hat. Die entferntesten heute sichtbaren Objekte sind ungefähr 4×10^{26} Meter weit weg; diese Entfernung definiert das für uns beobachtbare Weltall, auch Hubble-Volumen, Horizontvolumen oder einfach unser Universum genannt. Die Universen unserer Doppelgänger sind Kugeln des gleichen Durchmessers mit dem Planeten unseres Alter Ego im Zentrum. Dies ist das einfachste Beispiel für Paralleluniversen. Jedes Universum ist nur ein kleiner Teil eines größeren »Multiversums«.

Angesichts dieser Definition könnte man meinen, der Begriff des Multiversums gehöre für immer in den Bereich der Metaphysik. Doch die Grenze zwi-

ALFRED T. KAMAJIAN

schen Physik und Metaphysik wird dadurch definiert, ob eine Theorie experimentell überprüfbar ist, und nicht dadurch, ob die Theorie ungewohnt ist oder unbeobachtbare Dinge enthält. Die Grenzen der Physik wurden immer weiter ausgedehnt und umschließen immer abstraktere – und ehemals metaphysische – Begriffe wie Erdkugel, unsichtbare elektromagnetische Felder, Zeitdilatation bei hohen Geschwindigkeiten, Quantensuperpositionen, Raumkrümmung und Schwarze Löcher. Das Multiversum gehört seit einigen Jahren auf diese Liste. Es beruht auf bewährten Theorien – insbesondere Relativitätstheorie und Quantenmechanik – und erfüllt beide Grundkriterien einer empirischen Wissenschaft: Es macht Vorhersagen und kann falsifiziert werden. Wissenschaftler diskutieren bis zu vier unterschiedliche Typen von Paralleluniversen. Dabei ist die Frage nicht, ob es das Multiversum gibt, sondern wie viele Ebenen es hat.

Ebene I: Jenseits unseres kosmischen Horizonts

Die Paralleluniversen Ihrer Doppelgänger bilden das Ebene-I-Multiversum. Wir alle akzeptieren die Existenz von Dingen, die wir nicht sehen, die wir aber beobachten könnten, wenn wir unseren Aussichtspunkt verlagerten oder bloß abwarten würden wie Leute, die Schiffe über dem Horizont auftauchen sehen. Mit Objekten hinter unserem kosmischen Horizont verhält es sich ähnlich. Das beobachtbare Universum wird jedes Jahr um ein Lichtjahr größer, weil das Licht von immer weiter entfernten Objekten Zeit hat, uns zu erreichen. Eine Unendlichkeit liegt da draußen und wartet darauf, gesehen zu werden. Wahrscheinlich sind Sie längst tot, bevor Ihre Alter Ego in Sichtweite gelangen, aber im Prinzip – und falls die kosmische Expansion mitspielt – können Ihre Nachkommen sie durch ein entsprechend starkes Teleskop beobachten.

Das Ebene-I-Multiversum mutet eher trivial an. Wie könnte der Raum nicht unendlich sein? Steht irgendwo ein Schild: »Achtung, Raum endet hier«? Falls dem so wäre, was läge dahinter? Tatsächlich stellt Einsteins Gravitationstheorie diese naive Ansicht in Frage. Ein kon- ▷

In einer unendlichen Flucht von Universen ist jede nur denkbare Möglichkeit irgendwo Realität.

vex gekrümmter Raum könnte durchaus endlich sein. Ein kugel-, ring- oder brezelförmiges Universum hätte ein endliches Volumen und wäre doch unbegrenzt. Die kosmische Hintergrundstrahlung erlaubt empfindliche Tests solcher Modelle (siehe »Ist der Raum endlich?« von Jean-Pierre Luminet, Glenn D. Starkman und Jeffrey R. Weeks, Spektrum der Wissenschaft 7/1999, S. 50). Doch bislang sprechen alle Indizien dagegen. Die Daten passen viel besser zu unendlichen Modellen.

Eine andere Möglichkeit wäre das früher populäre »Insel-Universum«: Der Raum ist unendlich, aber die Materie beschränkt sich auf einen endlichen Bereich, der uns umgibt. Eine Variante dieses Modells besagt, dass die Materie über große Entfernungen gemäß einer fraktalen Verteilung dünner wird. In beiden Fällen wären fast alle Universen im Ebene-I-Multiversum leer und tot. Allerdings zeigen neuere Beobachtungen des kosmischen Mikrowellenhintergrunds und der Galaxienverteilung, dass die Materie in großen Maßstäben höchst einförmig verteilt ist: Es gibt keine zusammenhängenden Strukturen, die größer sind als ungefähr 10^{24} Meter. Falls dieses Muster sich fortsetzt, wimmelt der Raum jenseits unseres beobachtbaren Universums von Galaxien, Sternen und Planeten.

Wesen in Ebene-I-Paralleluniversen erleben dieselben physikalischen Gesetze wie wir – freilich unter anderen Anfangsbedingungen. Vermutlich wurde die Materie durch Prozesse kurz nach dem Urknall so zufällig verteilt, dass mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit alle möglichen Anordnungen entstanden sind. Wie die Kosmologen vermuten, ist unser Universum mit seiner nahezu gleichmäßigen Materieverteilung und seinen anfänglichen Dichtefluktuationen von 1 zu 100 000 recht typisch – zumindest für Universen, die Beobachter enthalten. Diese Annahme liegt der Schätzung zugrunde, dass Ihre nächstliegende identische Kopie 10 hoch 10^{28} Meter weit entfernt liegt. In einer Entfernung von rund 10 hoch 10^{92} Metern sollte es eine Kugel mit hundert Lichtjahren Radius geben, die mit der entsprechenden uns umgebenden identisch ist, sodass alle Beobachtungen, die wir in den nächsten hundert Jahren machen werden, völlig mit denen unserer Doppelgänger übereinstimmen. Rund 10 hoch 10^{118} Meter von uns entfernt sollte ein gesamtes Hubble-Volumen liegen, das mit unserem identisch ist.

Die Entfernung des Doppelgängers

Diese äußerst konservativen Schätzungen erhält man einfach durch Abzählen aller möglichen Quantenzustände, die ein Hubble-Volumen annehmen kann, wenn es nicht heißer ist als 10^8 Kelvin. Man stellt zum Beispiel die Frage, wie viele Protonen in ein Hubble-Volumen dieser Temperatur passen. Die Antwort lautet: 10^{118} Protonen. Da jedes dieser Teilchen entweder vorhanden sein kann oder auch nicht, gibt es 2 hoch 10^{118} mögliche Anordnungen von Protonen. Ein Kasten, der so viele Hubble-Volumina enthält, erschöpft sämtliche Möglichkeiten. Ein solcher Behälter misst sehr grob geschätzt 10 hoch 10^{118} Meter. Jenseits des Kastens müssen sich die Universen – unseres eingeschlossen – identisch wiederholen. Ungefähr dieselbe Zahl lässt sich auch aus thermodynamischen oder quantengravitationstheoretischen Schätzungen für den gesamten Informationsgehalt des Universums herleiten.

Ihr nächster Doppelgänger ist Ihnen höchstwahrscheinlich viel näher, als diese Zahlen vermuten lassen, denn die Prozesse der Planetenbildung und der biologischen Evolution verbessern Ihre Chancen erheblich. Astronomen schätzen, dass unser Hubble-Volumen mindestens 10^{20} bewohnbare Planeten enthält; einige davon könnten durchaus wie die Erde aussehen.

Das Konzept des Ebene-I-Multiversums wird ständig benutzt, um Theorien der modernen Kosmologie zu bewerten – auch wenn das Verfahren selten explizit erwähnt wird. Zum Beispiel haben die Kosmologen den kosmischen Hintergrund dazu verwendet, eine endliche sphärische Geometrie auszuschließen. Die heißen und kalten Flecken der Mikrowellenstrahlung haben eine charakteristische Größe, die mit der Krümmung des Raumes zusammenhängt, und die beobachteten Flecken scheinen für eine sphärische Gestalt zu klein zu sein.

Streng genommen handelt es sich um eine statistische Aussage. Da die mittlere Fleckengröße von einem zum anderen Hubble-Volumen zufällig variiert, könnte unser Universum uns täuschen: Es könnte sphärisch sein, aber zufälligerweise abnorm kleine Flecken haben. Wenn die Kosmologen sagen, sie hätten das sphärische Modell mit 99,9-prozentiger Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen, dann meinen sie eigentlich: Wenn dieses Modell richtig wäre, würde weniger als eins von tausend Hubble-Volumina so kleine Flecken zeigen wie das unsere.

Offensichtlich lässt sich die Multiversum-Theorie testen und falsifizieren, obwohl wir die anderen Universen nicht sehen können. Man muss das Ensemble der Paralleluniversen eingrenzen und über diesem Ensemble eine Wahrscheinlichkeitsverteilung – oder wie die Mathematiker sagen, ein Maß – definieren. Unser Universum sollte sich dabei als besonders wahrscheinlich erweisen. Andernfalls – wenn wir gemäß der Multiversum-Theorie in einem unwahrscheinlichen Universum leben – gerät die Theorie in Schwierigkeiten. Wie ich später zeigen werde, kann dieses Maßproblem ziemlich kompliziert werden.

Das Ebene-I-Multiversum war schon ein starkes Stück, aber nun versuchen wir uns eine unendliche Menge separater Ebene-I-Multiversen vorzustellen. Einige haben vielleicht andere Raumzeit-Dimensionen oder andere physikalische Konstanten. Diese Multiversen bilden ein Ebene-II-Multiversum und werden

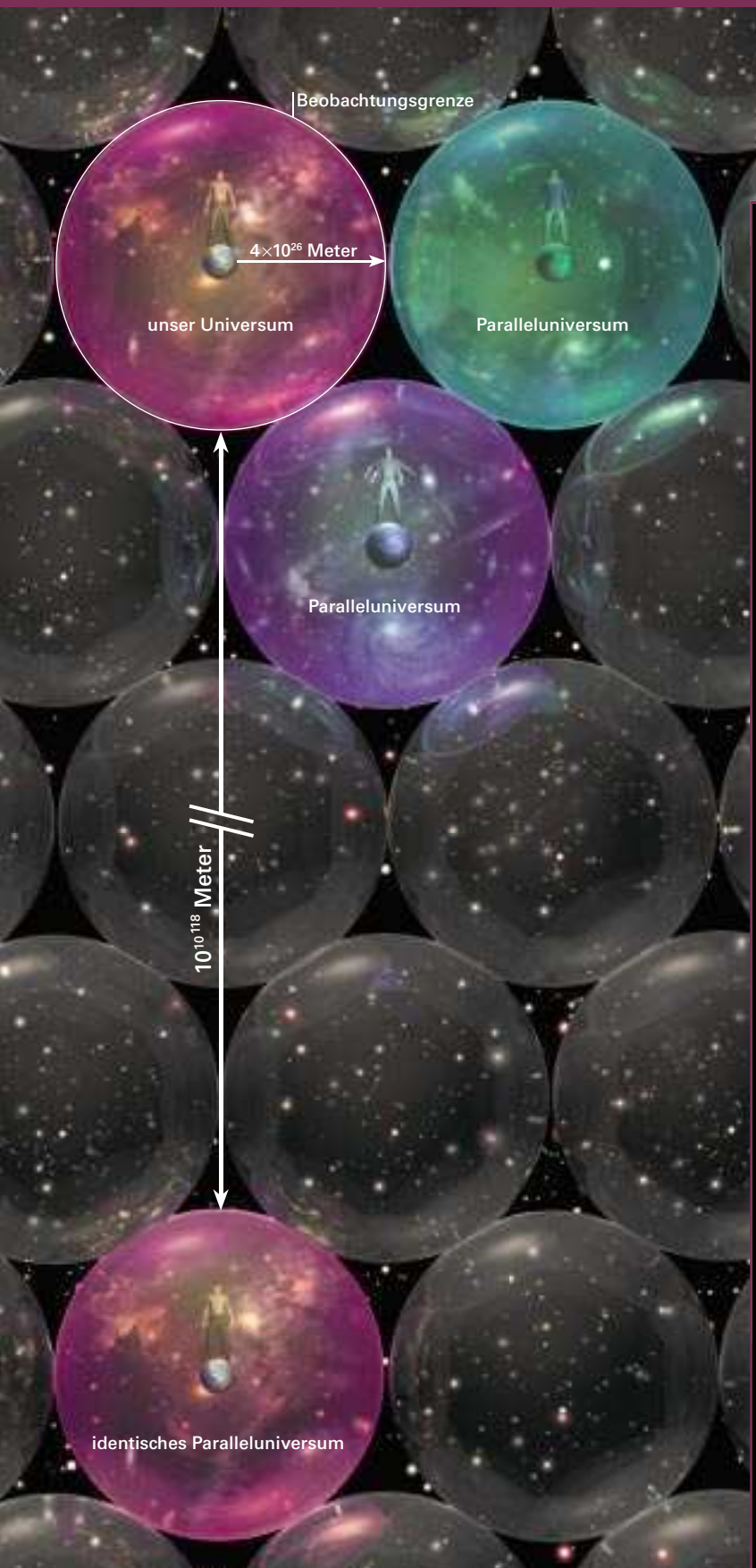
IN KÜRZE

- **Paralleluniversen** sind neueren kosmologischen Beobachtungen zufolge nicht bloß eine extravagante Idee. Da der Weltraum sich offenbar unendlich weit erstreckt, wird irgendwo dort draußen alles irgend Mögliche verwirklicht – und sei es noch so unwahrscheinlich. Jenseits der Reichweite unserer Teleskope gibt es Raumregionen, die mit unserer identisch sind. Die mittlere Entfernung solcher Paralleluniversen kann sogar berechnet werden.
- Aus kosmologischen und quantenphysikalischen Überlegungen schließen Forscher auf mehrere Ebenen von **Multiversen** mit vielfältigen Eigenschaften und Naturgesetzen. Ihre Existenz vermag gewisse Besonderheiten unseres Universums zu erklären und vielleicht sogar fundamentale Fragen zu beantworten – etwa die nach dem Wesen der Zeit oder nach der mathematischen Beschreibbarkeit der physikalischen Welt.

ALFRED T. KAMAJIAN (HINTERGRUND); SARA CHEN (INSET)

Das Ebene-I-Multiversum

Der einfachste Typ eines Paralleluniversums ist eine Raumregion, die für unsere Beobachtungen zu weit entfernt ist. Derzeit können wir höchstens 4×10^{26} Meter oder 42 Milliarden Lichtjahre weit sehen. Diese Entfernung konnte das Licht seit dem Urknall vor 14 Milliarden Jahren zurücklegen; sie ist größer als 14 Milliarden Lichtjahre, weil die kosmische Expansion die Abstände gedehnt hat. Jedes Paralleluniversum der Ebene I gleicht im Prinzip unserem Universum. Sämtliche Unterschiede stammen von Variationen der anfänglichen Materieverteilung.

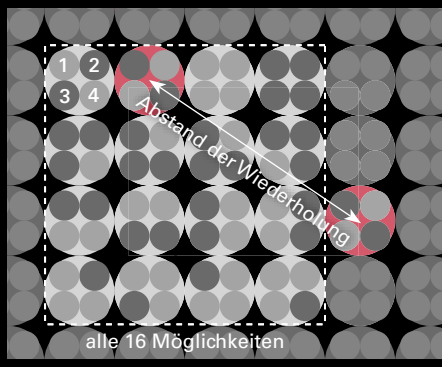


Wie weit ist ein Zwillingsuniversum entfernt?

Modelluniversum

Stellen wir uns ein zweidimensionales Universum vor, das nur vier Teilchen Platz bietet. Ein solches Universum hat $2^4=16$ mögliche Anordnungen der Materie. Gibt es mehr als 16 dieser Universen, so müssen sie sich wiederholen. Die Entfernung zur nächsten Wiederholung ist ungefähr der vierfache Durchmesser eines Universums.

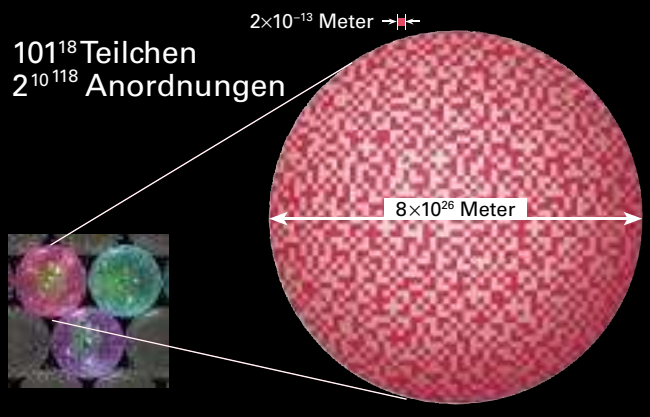
4 Teilchen
2^4 Anordnungen



Unser Universum

Das gleiche Argument gilt für unser Universum, das rund 10^{118} Elementarteilchen Platz bietet. Deshalb sind 2 hoch 10^{118} Anordnungen möglich, oder rund 10 hoch 10^{118}. Durch Multiplikation mit dem Durchmesser des Universums ergibt sich ein mittlerer Abstand zum nächsten Duplikat von 10 hoch 10^{118} Metern.

$10^{10^{118}}$ Teilchen
$2^{10^{118}}$ Anordnungen



▷ durch die Theorie der chaotischen ewigen Inflation vorhergesagt.

Die Inflation, eine Erweiterung der Urknalltheorie, beantwortet die Frage, warum das Universum so groß, so gleichförmig und so flach ist. Eine rapide Raumdehnung kurz nach dem Urknall vermag diese und andere Eigenschaften auf einen Streich zu erklären (siehe »Das selbstreproduzierende inflationäre Universum« von Andrei Linde, Spektrum der Wissenschaft 1/1995, S. 32). Die Adjektive »chaotisch« und »ewig« beziehen sich auf das Geschehen im größten Maßstab. Der Raum als Ganzes dehnt sich aus und wird damit ewig weiter fortfahren, aber einige Raumgebiete koppeln sich ab und bilden separate Blasen, ähnlich den Gasbläschen in einem aufgehenden Brotteig. Unendlich viele solcher kosmischen Blasen entstehen, und jede ist Keim eines Ebene-I-Multiversums – unendlich groß und erfüllt mit Materie, welche von dem Energiefeld, das die Inflation antrieb, abgelagert wurde.

Diese Blasen sind von der Erde sozusagen mehr als unendlich weit entfernt, denn man könnte sie, selbst wenn man unentwegt mit Lichtgeschwindigkeit reisen würde, niemals erreichen. Der Grund ist, dass der Raum zwischen unserer Blase und ihren Nachbarn schneller expandiert, als man ihn zu durchqueren vermag. Unsere Nachkommen werden ihre Doppelgänger in Ebene II prinzipiell nie zu Gesicht bekommen. Übrigens gilt aus demselben Grund: Falls die kosmische Expansion sich beschleunigt – wofür neuere Beobachtungen sprechen –, werden sie nicht einmal ihre Alter Ego in Ebene I sehen können.

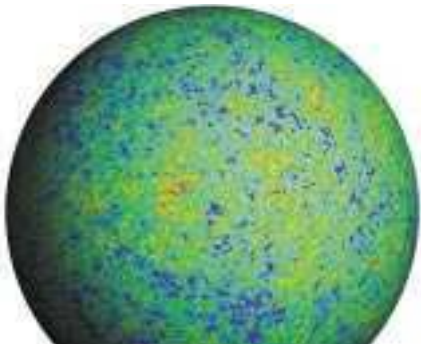
Das Multiversum der Ebene II

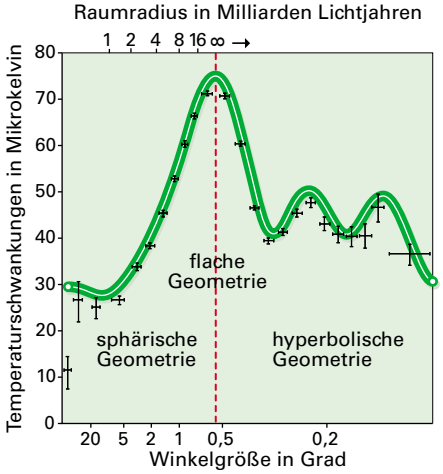
Das Ebene-II-Multiversum ist viel abwechslungsreicher als Ebene I. Die Blasen unterscheiden sich nicht nur in ihren Anfangsbedingungen, sondern auch in vermeintlich unabänderlichen Natureigenschaften. In der modernen Physik herrscht die Meinung vor, dass die Dimensionalität der Raumzeit, die Eigenschaften der Elementarteilchen und viele Naturkonstanten nicht in physikalischen Gesetzen verankert sind, sondern aus so genannten Symmetriebrechungen hervorgingen. Zum Beispiel hatte der Raum in unserem Universum einer Theorie zufolge ursprünglich neun gleichberechtigte Dimensionen – aber nur drei davon nahmen an der kosmischen Expansion teil und wurden zu den uns vertrauten Raumdimensionen. Die übrigen sechs lassen sich heute nicht mehr beobachten, weil sie entweder mikroskopisch klein blieben und sich ringförmig einrollten oder weil die gesamte Materie nur eine dreidimensionale Membran im neundimensionalen Raum belegt.

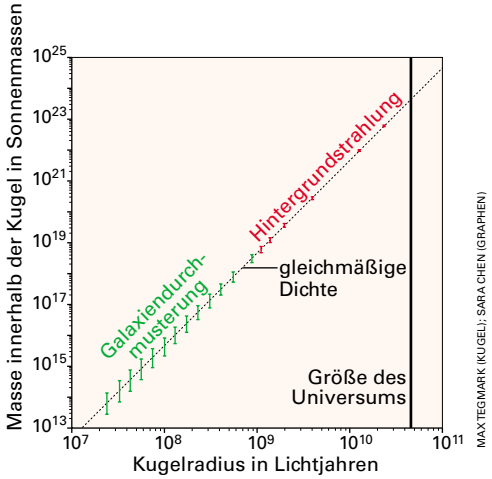
Jedenfalls wurde die ursprüngliche Symmetrie zwischen den Dimensionen gebrochen. Die Quantenfluktuationen, welche die chaotische Inflation antreiben, können in verschiedenen Blasen unterschiedliche Symmetriebrechungen erzeugen. Einige Blasen werden vielleicht vierdimensional, andere enthalten statt drei Quarkfamilien nur zwei und wieder andere haben vielleicht eine stärkere kosmologische Konstante als unser Universum.

Ein Ebene-II-Multiversum könnte aber auch aus der zyklischen Entstehung und Zerstörung von Universen hervorgehen. Wissenschaftlich wurde diese Idee erstmals in den 1930er Jahren von dem Physiker Richard C. Tolman untersucht und kürzlich durch Paul J. Steinhardt von der Princeton University sowie Neil Turok von der Cambridge University verfeinert. Das Steinhardt-Turok-Modell postuliert eine zweite dreidimensionale Membran, die in einer höheren Dimension parallel versetzt zu unserer verläuft (siehe »Die unsichtbaren Dimensionen des Universums« von N. Arkani-Hamed et al., Spektrum der Wissenschaft 10/2000, S. 44). Diese Parallelwelt ist ei- ▷

Der Weltraum: unendliche Weiten







MAX TEGMARK (KUGEL); SARA CHEN (GRAPHEN)

Neuere kosmologische Daten besagen, dass der Raum sich weit jenseits unserer Beobachtungsgrenzen fortsetzt. Kürzlich lieferte der Satellit WMAP die bisher detailreichste Karte der Fluktuationen im kosmischen Mikrowellenhintergrund (links). Die stärksten Fluktuationen sind nur ein halbes Winkelgrad groß. Dies spricht für einen flachen, unendlichen Raum (Mitte). Nur wenige Kosmologen deuten den »Ausreißer« links unten im Diagramm als Indiz für ein sphärisches Universum mit endlichem Volumen. Zudem zeigen die WMAP-Daten und die Galaxiendurchmusterung *2dF Galaxy Redshift Survey*, dass der Raum auch im Großen gleichmäßig mit Materie erfüllt ist (rechts). Somit dürften andere Universen im Grunde unserem gleichen.

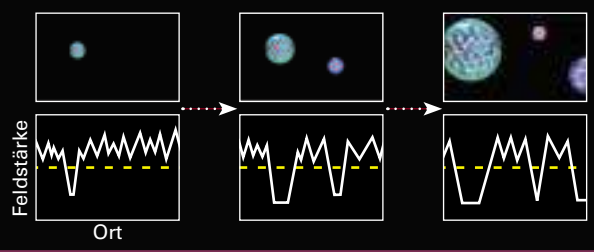
ALFRED T. KAMAJIAN (HINTERGRUND); CORNELIA BLIK (OBERES INSET); SARA CHEN (UNTERES INSET)

Das Ebene-II-Multiversum

Aus der Theorie der kosmischen Inflation folgt ein komplizierterer Typ von Paralleluniversen. Das Ebene-I-Multiversum – unser Universum und die benachbarten Raumbereiche – ist demnach eine Blase in einem noch riesigeren, aber größtenteils leeren Volumen. Dort gibt es andere Blasen, die zu unserer Welt keinerlei Verbindung haben. Sie kondensieren wie Regentropfen in einer Wolke. Während der Kondensation wird jede Blase durch Variationen der Quantenfelder mit spezifischen Eigenschaften ausgestattet, durch die sie sich von anderen Blasen unterscheidet.

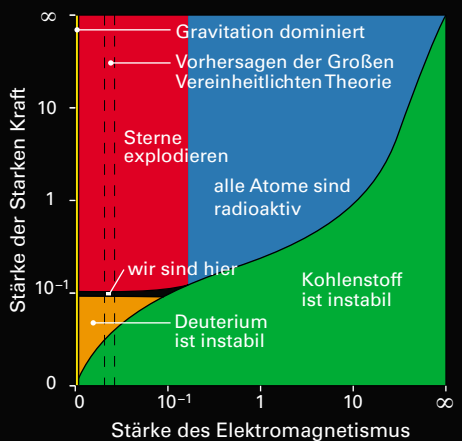
Kondensation der Blasen

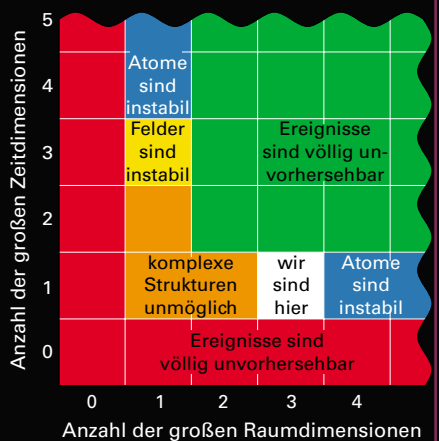
Ein Quantenfeld namens Inflaton verursacht eine rapide Expansion des Raumes. Durch zufällige Fluktuationen verliert das Feld in einigen Raumregionen seine Kraft und die Expansion verlangsamt sich. In solchen Gebieten entstehen Blasen.



Indizien

Für die Existenz von Paralleluniversen der Ebene II spricht die unwahrscheinliche Feinabstimmung der Naturkräfte (Mitte) sowie der Raumzeit-Dimensionen (rechts) in unserem Universum. Diese Größen haben gerade passende Werte für die Entstehung von Leben. Die plausibelste Erklärung ist, dass diese Werte das Resultat von Zufallsprozessen bei der Entstehung unseres Universums sind, während unzählige andere Universen mit anderen Werten existieren, in denen Leben nicht möglich ist.





gentlich nicht wirklich ein eigenes Universum, denn sie steht mit unserer in Wechselwirkung. Aber das Ensemble der vergangenen, gegenwärtigen und zukünftigen Universen, das diese Membranen erzeugen, bildet ein nicht weniger vielfältiges Multiversum als die chaotische Inflation. Der Physiker Lee Smolin vom Perimeter Institute in Waterloo (kanadische Provinz Ontario) hat sich ein weiteres Multiversum ausgedacht, dessen Vielfalt der Ebene II entspricht. Es geht aber nicht aus Membranen hervor, sondern aus Schwarzen Löchern, in denen neue Universen sprießen.

Das anthropische Prinzip

Obwohl wir nicht mit anderen Paralleluniversen der Ebene II in Kontakt treten können, lässt sich ihre Existenz indirekt erschließen, denn dadurch werden einige seltsame Zufälle in unserem Universum erklärlich. Dafür ein »irdisches« Beispiel: Angenommen, Sie gehen in ein großes Hotel, bekommen das Zimmer mit der Nummer 1967 und bemerken, dass das Ihr Geburtsjahr ist. Was für eine unglaubliche Übereinstimmung, sagen Sie. Doch nach kurzem Nachdenken finden Sie das Ereignis nicht mehr so überraschend. Das Hotel hat Hunderte von Räumen, und Sie hätten keinen Gedanken an die Zimmernummer verschwendet, wenn Sie irgendeine andere bekommen hätten. Das heißt: Selbst wenn Sie gar nichts über Hotels wüssten, könnten Sie, um die Übereinstimmung zu erklären, auf das Vorhandensein vieler anderer Hotelzimmer schließen.

Oder nehmen wir die Masse der Sonne. Die Masse eines Sternes entscheidet über seine Leuchtkraft, und mit einfacher Physik kann man berechnen, dass Leben auf der Erde nur möglich ist, wenn die Masse der Sonne in dem schmalen Bereich zwischen $1{,}6\times10^{30}$ und $2{,}4\times10^{30}$ Kilogramm liegt. Andernfalls wäre es auf der Erde heute kälter als auf dem Mars oder heißer als auf der Venus. Die Sonnenmasse beträgt $2{,}0\times10^{30}$ Kilogramm – auf den ersten Blick ein unglaublicher Glücksfall. Die Sternmassen variieren zwischen 10^{29} und 10^{32} Kilogramm, und die Chance, dass für unsere Sonne just der lebensfreundliche Wert herauskommt, ist extrem klein. Doch wie beim Hotelbeispiel lässt sich die Koinzidenz erklären, indem wir ein Ensemble – in diesem Fall eine Menge von Planetensystemen – und einen Auswahleffekt postulieren, nämlich die Tatsache, dass wir auf einem bewohnbaren Planeten leben müssen. Ein solcher beobachterabhängiger Auswahleffekt heißt »anthropisch«. Er ist zwar nicht unumstritten, aber die Physiker sind sich einig, dass solche Selektionseffekte beim Überprüfen fundamentaler Theorien nicht ignoriert werden können.

Was für Hotelzimmer und Planetensysteme gilt, trifft auch auf Paralleluniversen zu. Die meisten aus Symmetriebrechung hervorgegangenen Eigenschaften scheinen fein abgestimmt zu sein. Würden ihre Werte nur wenig verändert, so entstünde ein völlig anderes Universum, in dem wir wahrscheinlich nicht existieren könnten. Wären die Protonen um 0,2 Prozent schwerer, könnten sie in Neutronen zerfallen und damit die Atome destabilisieren. Wäre die elektromagnetische Kraft um 4 Prozent geringer, gäbe es weder Wasserstoff noch Sterne. Wäre die schwache Wechselwirkung viel schwächer, gäbe es keinen Wasserstoff; wäre sie viel stärker, könnten Supernovae das interstellare Medium nicht mit schweren Elementen anreichern. Und bei einer viel größeren kosmologischen Konstante wäre die Expansion des Universums so rapide, dass keine Galaxien entstehen könnten.

Auch wenn der Grad der Feinabstimmung noch diskutiert wird, legen diese Beispiele die Existenz von Paralleluniversen mit anderen physikalischen Konstanten nahe. Die Theorie des Ebene-II-Multiversums sagt voraus, dass Physiker die Werte dieser Konstanten niemals aus Grundprinzipien werden herleiten können. Sie vermögen nur Wahrscheinlichkeitsverteilungen zu berechnen, indem sie Auswahleffekte berücksichtigen. Das Ergebnis ist nur so allgemein wie die Tatsache unserer Existenz.

Ebene III: Viele Quantenwelten

Die Paralleluniversen in den Ebenen I und II sind so weit entfernt, dass nicht einmal Astronomen zu ihnen Zugang haben. Doch die nächste Multiversumsebene liegt direkt vor unserer Nase. Sie entstammt der berühmt-berüchtigten Vielwelten-Interpretation der Quantenmechanik. Die Idee besagt, dass das Universum sich durch zufällige Quantenprozesse in unzählige Kopien verzweigt – je eine Kopie für jedes mögliche Ergebnis.

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts revolutionierte die Theorie der Quantenmechanik die Physik, indem sie den atomaren Bereich erklärte – denn er gehorcht nicht den klassischen Regeln der Newton'schen Mechanik. Trotz des offensichtlichen Erfolgs der Theorie entbrannte eine hitzige Debatte über die richtige Interpretation. Die Theorie beschreibt den Zustand des Universums nicht mehr mit klassischen Größen wie Ort und Geschwindigkeit sämtlicher Teilchen, sondern mithilfe eines mathematischen Objekts namens Wellenfunktion. Gemäß der Schrödinger-Gleichung entwickelt sich dieser Zustand im Laufe der Zeit in einer von den Mathematikern als »unitär« bezeichneten Weise. Damit ist gemeint, dass die Wellenfunktion in einem abstrakten unendlichdimensionalen Raum namens Hilbert-Raum rotiert. Obwohl die Quantenmechanik oft als zufällig und unbestimmt charakterisiert wird, entwickelt sich die Wellenfunktion deterministisch. An ihr ist nichts zufällig oder unbestimmt.

»Kollaps« der Wellenfunktion?

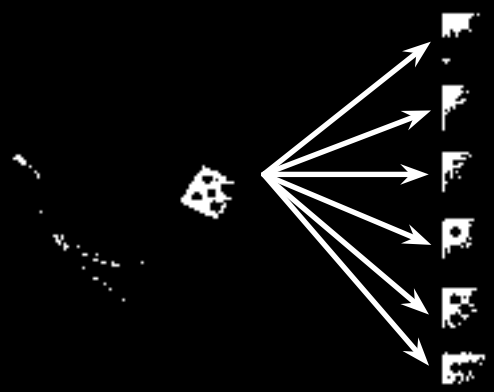
Das Problem ist, wie diese Wellenfunktion mit unseren Beobachtungen zusammenhängt. Viele zulässige Zustandsfunktionen beschreiben Situationen, die der Intuition widersprechen – etwa Schrödingers berühmte Katze, die als so genannte Superposition gleichzeitig lebendig und tot ist. In der 1920er Jahren entledigten sich die Physiker des Problems, indem sie postulierten, die Wellenfunktion »kollabiere« bei jeder Beobachtung zu einem bestimmten klassischen Ergebnis. Dieser Zusatz vermochte zwar den Übergang von der Theorie zu den Beobachtungen zu erklären, aber er verwandelte eine elegante unitäre Theorie in ein nicht unitäres Flickwerk. Die prinzipielle Zufälligkeit, die der Quantenmechanik üblicherweise zugeschrieben wird, ist ein Ergebnis dieses Postulats.

Mit der Zeit haben viele Physiker diese Interpretation zugunsten einer anderen aufgegeben; sie wurde 1957 von Hugh Everett III entwickelt, als er Doktorand an der Princeton University war. Wie er zeigte, ist das Kollaps-Postulat unnötig. Die unverfälschte Quantenmechanik erzeugt in der Tat keine Widersprüche. Obwohl sie besagt, dass eine klassische Realität sich sukzessive in Superpositionen vieler solcher Realitäten aufspaltet, nehmen Beobachter diese Aufspaltung subjektiv nur als eine geringfügige Zufälligkeit wahr, wobei die Wahrscheinlichkeiten exakt mit denen des al-

ALFRED T. KAMAJIAN

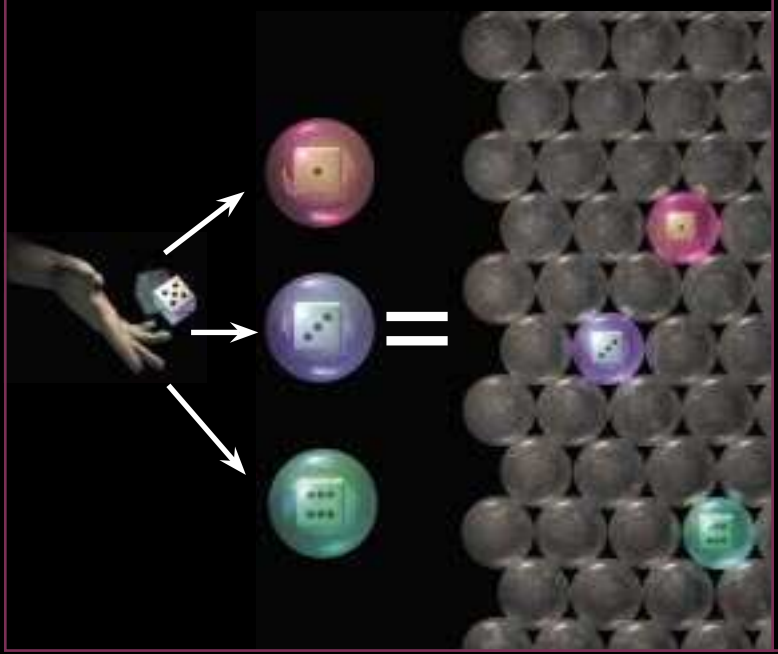
Das Ebene-III-Multiversum

Die Quantenmechanik postuliert eine gigantische Anzahl von Paralleluniversen, die aber nicht im üblichen Raum liegen, sondern in einem abstrakten Raum aller möglichen Zustände. Jeder im Rahmen der Quantenmechanik vorstellbare Zustand der Welt entspricht einem eigenen Universum. Diese Paralleluniversen machen sich im Laborexperiment durch typische Quanteneffekte bemerkbar, etwa durch Interferenzen von Quantenwellen.

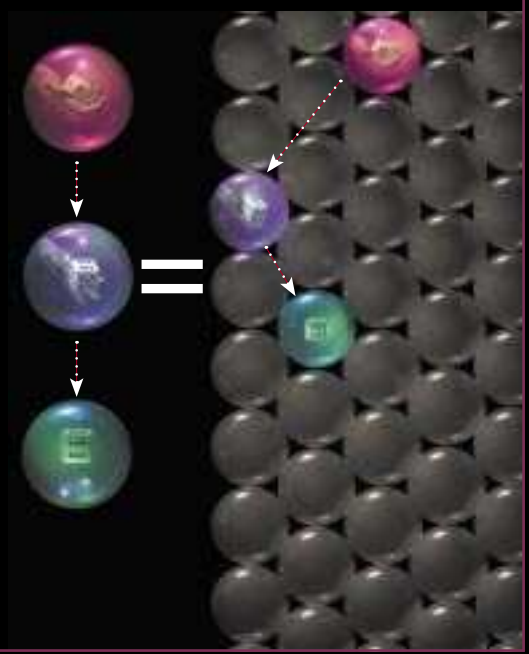


Quantenwürfel
Ein idealer Würfel, der nur den Gesetzen der Quantenmechanik unterworfen ist, wird durch jeden Wurf in eine Superposition aller sechs möglichen Wurfresultate versetzt – doch ein Beobachter sieht stets nur eines davon. Um diesen Widerspruch aufzulösen, stellen wir uns vor, dass der Wurf in verschiedenen Universen verschiedene Augenzahlen ergibt. In einem Sechstel aller Universen zeigt der Würfel Eins, in einem anderen Sechstel Zwei und so weiter. Da wir in einem Universum gefangen sind, können wir nur einen Bruchteil der vollständigen Quantenrealität wahrnehmen.

Ergodizität
Nach dem Prinzip der Ergodizität sind die quantenmechanischen Paralleluniversen äqivalent zu weniger exotischen Typen von Parallelwelten. Ein Quantenuniversum spaltet sich mit der Zeit in viele Universen auf (links). Doch diese neuen Welten unterscheiden sich nicht von Paralleluniversen, die bereits anderswo im Raum existieren – beispielsweise andere Welten der Ebene I (rechts). Die Grundidee ist, dass alle Typen von Paralleluniversen verschiedene Wege verkörpern, auf denen sich Ereignisse hätten abspielen können.



Das Wesen der Zeit
Für die meisten Menschen ist die Zeit ein Mittel, um Veränderung zu beschreiben: Zu einem Zeitpunkt ist die Materie auf eine bestimmte Weise geordnet, einen Augenblick später anders (links). Das Konzept der Multiversen legt eine andere Sichtweise nahe. Wenn die Paralleluniversen jede mögliche Anordnung der Materie enthalten, dann ist die Zeit einfach eine Möglichkeit, diese Universen als Folge anzuordnen (rechts). Die Universen selbst sind statisch, Veränderung eine Illusion.



▷ ten Kollaps-Postulats übereinstimmen. Diese Superposition von klassischen Welten ist das Ebene-III-Multiversum.

Everetts Vielwelten-Interpretation sorgt seit mehr als vier Jahrzehnten innerhalb und außerhalb der Physik für Verwirrung. Doch sie lässt sich recht einfach begreifen, wenn man zwei Standpunkte beim Betrachten einer physikalischen Theorie unterscheidet: den externen Standpunkt des Physikers, der seine mathematischen Formeln studiert wie ein Vogel, der von hoch oben die Landschaft überblickt, und den internen Standpunkt des Beobachters, der inmitten der von den Gleichungen beschriebenen Welt lebt wie ein Frosch in der Landschaft, die der Vogel überfliegt.

Vogelwarte und Froschperspektive

Aus der Vogelperspektive ist das Ebene-III-Multiversum einfach. Es gibt nur eine Wellenfunktion. Sie entwickelt sich glatt und deterministisch und zeigt keinerlei Anzeichen von Aufspaltung oder Parallelismus. Die abstrakte Quantenwelt, die von dieser sich entwickelnden Wellenfunktion beschrieben wird, enthält eine riesige Menge von parallelen klassischen Geschichtslinien, die sich unentwegt trennen und wieder verschmelzen, sowie zahlreiche Quantenphänomene, die sich einer klassischen Beschreibung entziehen. Die Beobachter nehmen aus ihrer Froschperspektive nur einen winzigen Teil dieser Gesamtrealität wahr. Sie können zwar ihr Ebene-I-Universum sehen, aber ein Prozess namens Dekohärenz – der den Kollaps der Wellenfunktion vortäuscht, ohne die Unitarität zu verletzen – verhindert, dass sie ihre Ebene-III-Kopien sehen. Immer wenn Beobachter vor eine Entscheidung gestellt werden und eine Auswahl zwischen den Alternativen treffen, führen Quanteneffekte in ihrem Gehirn zu einer Superposition der Ergebnisse – zum Beispiel »Lies den Artikel weiter« und »Lege den Artikel weg«. Aus der Vogelperspektive betrachtet, verursacht dieser Entscheidungsprozess die Aufspaltung der Person in mehrere Kopien: in eine, die weiterliest, und eine, die aufhört. Aus der Froschperspektive jedoch ist sich kein Alter Ego des anderen bewusst und bemerkt das Verzweigen nur als geringfügige Zufälligkeit – eine gewisse Wahrscheinlichkeit, weiterzulesen oder nicht.

So seltsam dies klingen mag, genau die gleiche Situation tritt sogar im Ebene-I-Multiversum auf. Sie haben sich offensichtlich entschieden, diesen Artikel weiterzulesen, aber eines Ihrer Alter Ego in einer entfernten Galaxie hat die Zeitschrift nach dem ersten Absatz weggelegt. Der einzige Unterschied zwischen Ebene I und Ebene III ist der Ort, an dem sich Ihre Doppelgänger aufhalten. In Ebene I leben sie irgendwo im guten alten dreidimensionalen Raum. In Ebene III leben sie auf einem anderen Quantenzweig des unendlichdimensionalen Hilbert-Raums.

Die Existenz der Ebene III hängt entscheidend von der Annahme ab, dass die zeitliche Entwicklung der Wellenfunktion ausnahmslos unitär ist. Bis jetzt konnte im Experiment keine Abweichung von der Unitarität festgestellt werden. In den letzten Jahren wurde sie an immer größeren Systemen bestätigt, unter anderem an Fulleren-Molekülen aus sechzig Kohlenstoffatomen und an kilometerlangen optischen Fasern. Theoretisch erhielt die Unitarität durch die Entdeckung der Dekohärenz Auftrieb (siehe »100 Jahre Quantentheorie« von Max Tegmark und John Archibald Wheeler, Spektrum der Wissenschaft 4/2001, S. 68).

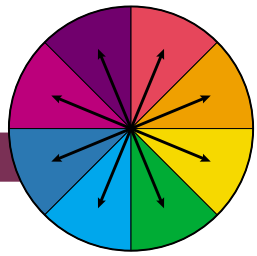
Wenn die Physik unitär ist, muss sich die gängige Vorstellung von der Rolle der Quantenfluktuationen beim Urknall ändern. Diese Fluktuationen haben nicht zufällig Anfangsbedingungen erzeugt. Vielmehr schufen sie eine Quantensuperposition aller möglichen Anfangsbedingungen, die gleichzeitig koexistierten. Die Dekohärenz sorgte dann dafür, dass diese Anfangsbedingungen sich auf separaten Quantenzweigen klassisch verhielten. Nun kommt der entscheidende Punkt: Die Verteilung der Ergebnisse auf unterschiedliche Quantenzweige in einem bestimmten Hubble-Volumen (Ebene III) ist identisch mit der Verteilung der Ergebnisse auf unterschiedliche Hubble-Volumina innerhalb eines einzigen Quantenzweigs (Ebene I). Diese Eigenschaft der Quantenfluktuationen ist in der statistischen Mechanik als Ergodizität bekannt.

Nichts Neues auf Ebene III

Dieselbe Überlegung gilt für Ebene II. Die Symmetriebrechung erzeugte nicht ein eindeutiges Ergebnis, sondern eine Superposition aller Ergebnisse, die rasch ihre eigenen Wege gingen. Wenn also die Naturkonstanten, die Dimensionalität der Raumzeit und anderes zwischen parallelen Quantenzweigen auf Ebene III variieren können, dann variieren sie auch zwischen den Paralleluniversen im Multiversum der Ebene II.

So gesehen fügt das Ebene-III-Multiversum nichts Neues zu Ebene I oder II hinzu. Es liefert nur noch mehr ununterscheidbare Kopien derselben Universen – dieselben alten Geschichten spielen sich wieder und wieder in anderen Quantenzweigen ab. Der heftige Streit um Everetts Theorie dürfte sich darum mit der Entdeckung der ebenso großen, aber weniger umstrittenen Multiversen der Ebenen I und II ganz von selbst beruhigen.

Dennoch sind die Folgen gravierend, und die Physiker fangen gerade erst an, sie zu erforschen. Nehmen wir zum Beispiel die Frage: Wächst die Anzahl der Universen exponentiell mit der Zeit? Die überraschende Antwort ist nein. Aus der Vogelperspektive gibt es natürlich nur ein einziges Quantenuniversum. Aus der



Wie stehen Ihre Chancen im vierfachen Multiversum?

Zwar lässt der Widerstand gegen Multiversum-Theorien allmählich nach, doch zugleich wächst sich die lästige Frage, wie man darin Wahrscheinlichkeiten berechnet, zu einem echten Problem aus. Wenn es mehrere identische Kopien von mir gibt, taugt die herkömmliche Vorstellung von Determinismus nichts mehr. Selbst wenn man den gesamten Zustand des Multiversums kennen würde, könnte man die eigene Zukunft nicht berechnen, denn man vermag nicht festzustellen, welche Kopie man selbst ist – alle Kopien denken, sie wären das Original. Darum sind nur Wahrscheinlichkeitsaussagen möglich. Hat ein Ergebnis eine Wahrscheinlichkeit von fünfzig Prozent, so bedeutet dies, dass die Hälfte aller Beobachter dieses Ergebnis beobachten.

Leider ist es gar nicht einfach zu berechnen, welcher Bruchteil der unendlich vielen Beobachter welches Ereignis beobachtet. Die Antwort hängt von der Reihenfolge ab, in der man die Beobachter zählt. Zum Vergleich: Der Bruchteil der ganzen Zahlen, die gerade sind, beträgt fünfzig Prozent, wenn man sie numerisch ordnet (1, 2, 3, 4, …), jedoch fast hundert Prozent, wenn sie nach Ziffern sortiert werden (1, 10, 100, 1000, …). Für Beobachter in separaten Universen gibt es kein natürliches Verfahren, sie zu sortieren. Stattdessen muss man aus den Universen Stichproben auswählen und mit einem statistischen Maß gewichten.

Dieses Problem lässt sich in Ebene I halbwegs bändigen, wird in Ebene II ernst, ist in Ebene III heftig umstritten und in Ebene IV monströs. Alexander Vilenkin von der Tufts Universität hat für Ebene II die Wahrscheinlichkeitsverteilung kosmologischer Parameter behandelt. Er plädiert dafür, den unterschiedlich expandierten Paralleluniversen statistische Gewichte proportional zu ihrem Volumen zu geben. Dagegen wird jeder Mathematiker einwenden, dass zweimal unendlich immer noch unendlich ist. Welchen Sinn hat die Aussage, ein um den Faktor zwei expandiertes unendliches Universum sei größer geworden? Außerdem ist ein endliches ringförmiges Universum äquivalent zu einem perfekt periodischen Universum mit unendlichem Volumen – sowohl aus der mathematischen Vogelperspektive als auch aus der Froschperspektive eines innerhalb sitzenden Beobachters. Warum sollte sein unendlich viel kleineres Volumen ihm das statistische Gewicht null geben? Immerhin wiederholen sich sogar im Ebene-I-Multiversum die Hubble-Volumina – wenn auch nicht periodisch, sondern zufällig – nach rund 10 hoch 10^{118} Metern.

Doch all das ist noch gar nichts gegen das Problem, den mathematischen Strukturen in Ebene IV statistische Gewichte zuzuschreiben. Da unser Universum relativ einfach zu sein scheint, könnte das korrekte Maß etwas mit Komplexität zu tun haben.

Froschperspektive zählen nur die zu einem gegebenen Zeitpunkt unterscheidbaren Universen – das heißt, die merklich verschiedenen Hubble-Volumina, in denen etwa Planeten willkürlich an andere Orte verschoben sind oder Sie ein anderes Leben führen. Es gibt auf der Quantenebene 10 hoch 10^{118} Universen, deren Temperatur unter 10^{8} Kelvin liegt. Dies ist eine zwar riesige, aber dennoch endliche Zahl.

Aus der Froschperspektive entspricht die Entwicklung der Wellenfunktion einem unaufhörlichen Übergang von einem der 10 hoch 10^{118} Zustände zum anderen. Jetzt sind Sie im Universum A, in dem Sie diesen Satz lesen – und jetzt im Universum B, wo Sie diesen anderen Satz lesen. Universum B hat einen Beobachter, der mit einem in Universum A identisch ist – bis auf eine zusätzliche Erinnerung. In jedem Augenblick existieren alle möglichen Zustände, und das Vergehen der Zeit ist Ansichtssache. So betrachtet hängt das Konzept des Multiversums eng mit dem Wesen der Zeit zusammen.

Zwar können in den Multiversen der Ebene I, II und III die Anfangsbedingungen und die Naturkonstanten variieren, doch die Naturgesetze bleiben gleich. Warum eigentlich? Warum dürfen nicht auch die Gesetze selbst variieren? Was wäre mit einem Universum, das nur der klassischen Physik gehorcht, ohne Quanteneffekte? Wie wäre es, wenn die Zeit nicht kontinuierlich abliefe, sondern in diskreten Schritten wie in einem Computer? Oder ein Universum, das einfach nur ein leerer Dodekaeder ist? Im Multiversum der Ebene IV existieren all diese Varianten tatsächlich.

Ebene IV: Andere mathematische Strukturen

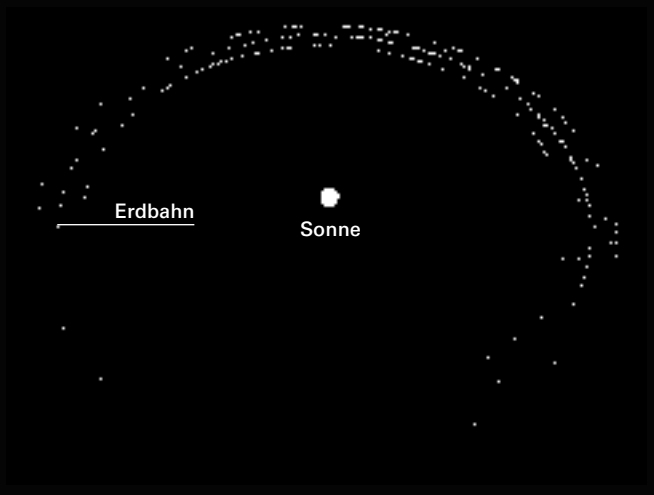
Dafür, dass ein solches Multiversum nicht nur wilde Spekulation ist, spricht die überraschend gute Übereinstimmung zwischen abstraktem Denken und Wirklichkeit. Mathematische Strukturen wie Zahlen, Vektoren, Gleichungen und geometrische Objekte beschreiben die Welt erstaunlich wahrheitsgetreu. In einem berühmten Vortrag sagte der Physiker Eugene P. Wigner 1959, die enorme Brauchbarkeit der Mathematik für die Naturwissenschaften grenze an ein Wunder. Umgekehrt muten mathematische Gebilde seltsam real an. Sie erfüllen eine Grundbedingung für objektive Existenz: Sie sind für jeden, der sie untersucht, gleich. Ein Theorem ist wahr unabhängig davon, ob es von einem Menschen, einem Computer oder einem intelligenten Delfin bewiesen wird. Außerirdische Zivilisationen würden die gleichen mathematischen Strukturen finden, die wir kennen. Dementsprechend meinen die allermeisten Mathematiker, dass sie mathematische Strukturen nicht erfinden, sondern entdecken.

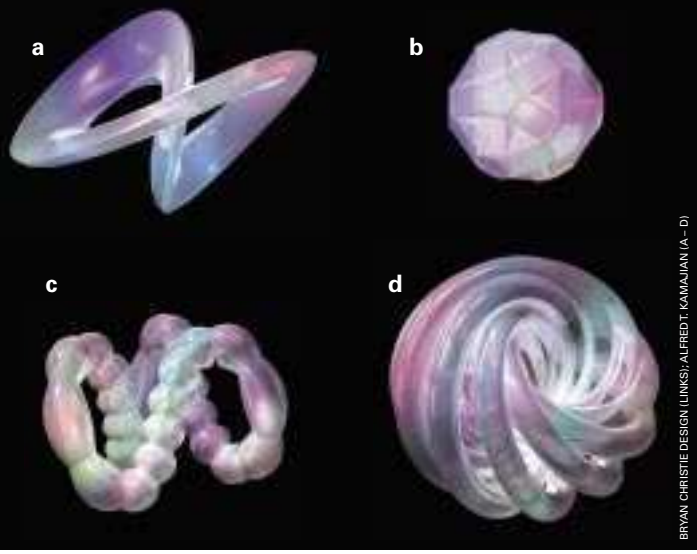
Es gibt über diesen Zusammenhang zwischen Mathematik und Physik zwei diametral entgegengesetzte Meinungen, die bis auf die antiken Philosophen Platon und Aristoteles zurückgehen. Nach Aristoteles ist die physikalische Realität grundlegend und die mathematische Sprache nur eine nützliche Annäherung. Platon zufolge ist die mathematische Struktur das eigentlich Reale, das von den Betrachtern nur unvollkommen wahrgenommen wird. Mit unseren Worten: Die beiden Philosophen streiten sich darüber, ob die Froschperspektive des Beobachters oder die Vogelperspektive der Naturgesetze grundlegend ist. Aristoteles bevorzugt die Frosch-, Platon die Vogelperspektive.

Kinder, die noch nie von Mathematik gehört haben, sind spontane Aristoteliker. Die platonische Sicht wird erst allmählich erworben. Theoretische Physiker neigen zum Platonismus: Sie vermuten, dass die Mathematik das Universum so ▷

Das Ebene-IV-Multiversum

Die höchste Form des Multiversums umfasst alle überhaupt denkbaren Möglichkeiten. Seine Universen unterscheiden sich nicht nur durch ihren Ort, die kosmologischen Eigenschaften oder ihre Quantenzustände, sondern auch durch die jeweils geltenden Naturgesetze. Da diese Welten außerhalb von Raum und Zeit existieren, ähneln sie am ehesten abstrakten, statischen Skulpturen, die für die mathematische Struktur der jeweils gültigen physikalischen Gesetze stehen. Als einfaches Beispiel dient ein Universum aus Erde, Mond und Sonne, das den Newton'schen Gesetzen gehorcht. Einem außenstehenden Beobachter erscheint dieses Universum als ein kreisförmiger Ring (Erdbahn), der mit einem Band umwickelt ist (Mondbahn). Andere Formen verkörpern andere physikalische Gesetze (a, b, c, d). Diese Betrachtungsweise macht plausibel, warum unser Universum sich überhaupt mathematisch beschreiben lässt.





BRYAN CHRISTIE DESIGN (LINKS); ALFRED T. KAMAJIAN (A – D)

▷ gut beschreibt, weil es an sich mathematisch ist. Demnach ist die gesamte Physik letztlich ein mathematisches Problem. Ein grenzenlos fähiger Mathematiker könnte im Prinzip die Froschperspektive ausrechnen – das heißt, welche Beobachter mit Selbstbewusstsein das Universum enthält, was sie wahrnehmen und welche Sprachen sie erfinden, um einander ihre Wahrnehmungen mitzuteilen.

Stellen wir uns eine Welt aus punktförmigen Teilchen vor, die sich im dreidimensionalen Raum umherbewegen. In der vierdimensionalen Raumzeit – der Vogelperspektive – ähneln diese Teilchentrajektorien einem Spagettiknäuel. Wenn der Frosch ein Teilchen beobachtet, das sich mit konstanter Geschwindigkeit fortbewegt, sieht der Vogel eine schnurgerade rohe Nudel. Hat der Frosch zwei einander umkreisende Teilchen vor sich, so sieht der Vogel zwei zu einer Doppelhelix verdrillte Spagetti. Für den Frosch wird die Welt durch die Newton'schen Gesetze für Bewegung und Gravitation beschrieben. Der Vogel hat als Welt die Geometrie der Nudeln vor sich – eine mathematische Struktur. Der Frosch ist nur ein dickes Nudelknäuel, wobei dessen komplexe Verschlingungen einem Teilchenverbund entsprechen, der Information zu speichern und zu verarbeiten vermag. Unser Universum ist wesentlich komplizierter als dieses Beispiel, und die Wissenschaftler haben noch längst nicht herausgefunden, welcher mathematischen Struktur es entspricht.

Radikaler Platonismus

Das platonische Paradigma wirft die Frage auf, warum das Universum so ist, wie es ist. Für einen Aristoteliker ist die Frage sinnlos: Das Universum existiert einfach. Doch ein Platoniker kann sich nur darüber wundern, warum es gerade so und nicht anders ist. Wenn das Universum an sich mathematisch ist, warum wurde dann nur eine der vielen mathematischen Strukturen ausgewählt, um ein Universum zu beschreiben? Die Wirklichkeit scheint eine fundamentale Asymmetrie zu bergen.

Als Lösung für dieses Rätsel habe ich vorgeschlagen, dass ungebrochene mathematische Symmetrie herrscht: Sämtliche mathematischen Strukturen existieren auch physikalisch. Jede mathematische Struktur entspricht einem Paralleluniversum. Die Elemente dieses Multiversums liegen nicht im selben Raum, sondern außerhalb von Raum und Zeit. In den meisten gibt es vermutlich keine Beobachter. Diese Hypothese kann als eine Form von radikalem Platonismus angesehen werden, denn sie behauptet, dass die mathematischen Strukturen in Platons Ideenwelt in physikalischem Sinne existieren. Dies ähnelt dem, was der Kosmologe John D. Barrow von der Universität Cambridge in seinem gleichnamigen Buch einen »Himmel voller Zahlen« genannt hat und David K. Lewis, der verstorbene Philosoph an der Princeton University, modalen Realismus. Ebene IV schließt die Hierarchie der Multiversen ab, denn jede fundamentale physikalische Theorie lässt sich durch eine mathematische Struktur ausdrücken.

Die Hypothese des Ebene-IV-Multiversums macht prüfbare Voraussagen. Wie in Ebene II gibt es auch hier ein Ensemble – die Gesamtheit der mathematischen Strukturen – und Auswahleffekte. Im Zuge der Kategorisierung von mathematischen Strukturen sollte sich herausstellen, dass die Struktur, die unsere Welt beschreibt, die allgemeinste ist, die mit unseren Beobachtungen übereinstimmt. Ebenso sollten unsere zukünftigen Beobachtungen die allgemeinsten sein, die zu unseren vergangenen passen, und diese

wiederum die allgemeinsten, die mit unserer Existenz vereinbar sind.

Diesen Sinn von »allgemein« zu quantifizieren, ist freilich äußerst schwierig. Aber ein ermutigendes Merkmal der mathematischen Strukturen ist, dass die Symmetrie- und Invarianzeigenschaften, die für die Einfachheit und Ordnung unseres Universums verantwortlich sind, allgemein zu sein scheinen – eher die Regel als die Ausnahme. Mathematische Strukturen besitzen diese Eigenschaften anscheinend von selbst, und man muss komplizierte Zusatzannahmen machen, um sie zum Verschwinden zu bringen.

Die wissenschaftlichen Theorien der Paralleluniversen bilden eine vierstufige Hierarchie, in der die Universen immer fremdartiger werden. Sie können andere Anfangsbedingungen haben (Ebene I); andere Naturkonstanten, Elementarteilchen und Symmetrien (Ebene II); oder sogar andere Naturgesetze (Ebene IV). Seltsamerweise wurde ausgerechnet Ebene III in den letzten Jahrzehnten am meisten kritisiert, obwohl sie als einzige keine qualitativ neuen Universen hinzufügt.

Im kommenden Jahrzehnt werden die drastisch verbesserten kosmologischen Messungen des Mikrowellenhintergrunds und der großräumigen Materieverteilung die Krümmung und Topologie des Raumes genau bestimmen und dadurch Ebene I bestätigen oder verwerfen. Diese Messungen werden auch Ebene II testen, indem sie die Theorie der chaotischen ewigen Inflation überprüfen. Fortschritte in Astro- und Teilchenphysik werden auch klären, wie fein die Naturkonstanten abgestimmt sind, und dadurch Argumente für oder gegen Ebene II liefern.

Falls die Versuche, Quantencomputer zu bauen, eines Tages Erfolg haben, werden sie weitere Indizien für Ebene III liefern, denn solche Geräte sollen den Parallelismus des Ebene-III-Multiversums für paralleles Rechnen nutzen. Andererseits suchen einige Experimentatoren aber auch nach einer Verletzung der Unitarität – wodurch Ebene III ausgeschlossen würde.

Und schließlich wird Erfolg oder Versagen bei der größten Herausforderung der modernen Physik – der Vereinigung von Allgemeiner Relativitätstheorie und Quantenfeldtheorie – die Meinung über Ebene IV bestimmen. Entweder finden wir eine mathematische Struktur, die exakt auf unser Universum passt, oder wir stoßen an eine Grenze für die unglaubliche Wirksamkeit der Mathematik. Dann müssen wir Ebene IV aufgeben.

Sollte man also an Paralleluniversen glauben? Die Hauptargumente dagegen lauten: Sie sind erstens verschwenderisch und zweitens extravagant. Das erste Argument besagt, dass die Theorie der Multiversen gegen Ockhams Rasiermesser – das erkenntnistheoretische Sparsamkeitsprinzip des englischen Theologen Wilhelm von Ockham (1285–1349) – verstößt, denn sie postuliert die Existenz von Welten, die wir niemals beobachten können. Warum sollte die Natur so verschwenderisch sein, sich eine unendliche Anzahl unterschiedlicher Welten zu leisten? Doch dieses Argument lässt sich zugunsten der Multiversen umkehren. Was genau würde die Natur denn verschwenden? Gewiss nicht Raum, Masse oder Atome – schon das unumstrittene Ebene-I-Multiversum enthält bereits unendlich viel davon, also sollte es auf ein bisschen mehr nicht ankommen. Doch eigentlich geht es um den scheinbaren Verlust an Einfachheit. Den Skeptiker stört die ungeheure Menge an Information, die zur Beschreibung all dieser ungesehenen Welten nötig ist.

Ockhams stumpfes Rasiermesser

Aber ein komplettes Ensemble ist oft einfacher zu beschreiben als einer seiner Teile. Dieses Prinzip lässt sich durch den Begriff des algorithmischen Informationsgehalts ausdrücken. Die algorithmische Information einer Zahl ist grob gesagt die Länge des kürzesten Computerprogramms, das diese Zahl als Output liefert. Betrachten wir die Menge der ganzen Zahlen: Was ist einfacher, die gesamte Menge oder eine einzelne Zahl? Intuitiv würde man sagen, die einzelne Zahl. Aber die gesamte Menge kann mit einem trivialen Computerprogramm generiert werden, während eine einzelne Zahl beliebig lang sein kann. Deshalb ist die gesamte Menge tatsächlich einfacher.

Ebenso ist die Menge aller Lösungen der Einstein'schen Feldgleichungen einfacher als eine spezielle Lösung. Erstere wird durch ein paar Gleichungen beschrieben, während Letztere die Spezifikation einer riesigen Anzahl von Anfangswerten auf einer Hyperfläche erfordert. Daran sehen wir, dass die Komplexität zunimmt, wenn wir unsere Aufmerksamkeit auf ein bestimmtes Element eines Ensembles konzentrieren: Dabei opfern wir die der Gesamtheit aller Elemente eigene Symmetrie und Einfachheit. In diesem Sinne sind die Multiversen der höheren Ebenen einfacher.

Wenn wir von unserem Universum zu einem Ebene-I-Multiversum übergehen, müssen wir keine Anfangsbedingungen mehr spezifizieren. Beim Übergang zu Ebene II entfällt das Spezifizieren von Naturkonstanten, und für Ebene IV müssen wir gar nichts mehr spezifizieren. Das Übermaß an Komplexität steckt nur in der subjektiven Wahrnehmung der Beobachter – in der Froschperspektive. Aus der Vogelperspektive könnte das Multiversum kaum einfacher sein.

Der zweite Vorwurf – Extravaganz – ist eher ästhetischer als wissenschaftlicher Natur und hat eigentlich nur vom aristotelischen Standpunkt überhaupt Sinn. Aber was haben wir erwartet? Wenn wir eine tiefgründige Frage nach dem Wesen der Realität stellen, müssen wir dann nicht mit einer Antwort rechnen, die seltsam anmutet? Die Evolution hat uns mit einer Intuition für Alltagsphysik ausgestattet, die dem Überleben unserer urtümlichen Vorfahren nützte. Wir sollten uns nicht wundern, wenn jenseits der Alltagswelt die Aussicht bizarr erscheint.

Allen vier Ebenen ist gemeinsam, dass die eleganteste Theorie von selbst zu Paralleluniversen führt. Um die Existenz dieser Universen zu leugnen, muss man der Theorie experimentell unbestätigte Prozesse und Ad-hoc-Annahmen hinzufügen: endlichen Raum, Kollaps der Wellenfunktionen und ontologische Asymmetrie. Letztlich müssen wir uns entscheiden, was wir verschwenderischer und uneleganter finden: viele Welten oder viele Worte. Vielleicht werden wir uns allmählich mit der Seltsamkeit unseres Kosmos anfreunden und finden, dass seine Extravaganz einen Teil seines Zaubers ausmacht. ◁

Max Tegmark ist Professor für Physik und Astronomie an der University of Pennsylvania in Philadelphia. Er ist Experte für kosmische Hintergrundstrahlung und Galaxienverteilung.

Inflation, Quantum Cosmology and the Anthropic Principle. Von Andrei Linde in: Science and Ultimate Reality: From Quantum to Cosmos. Von J. D. Barrow, P. C. W. Davies und C. L. Harper (Hg.). Cambridge University Press, 2003.

Our Cosmic Habitat. Von Martin Rees. Princeton University Press, 2001.

Weblinks zum Thema finden Sie bei www.spektrum.de unter »Inhaltsverzeichnis«.

AUTOR UND LITERATURHINWEISE

PALÄANTHROPOLOGIE

Ältester *Homo sapiens*

Dass unsere affenartigen Urahnen in Afrika lebten, steht inzwischen fest. Streit gibt es aber immer noch über den Ursprungsort des modernen *Homo sapiens sapiens*. Entstand er auch auf dem Schwarzen Kontinent und eroberte von dort aus den Rest der Welt? Oder entwickelte er sich simultan in verschiedenen Erdteilen aus seinem schon früher ausgewanderten Vorfahren *Homo erectus*? Für die Out-of-Africa-Hypothese, der die Mehrzahl der Forscher anhängt, sprechen vor allem genetische Vergleiche. Sie hatte bisher allerdings einen Schönheitsfehler: Es fanden sich keine fossilen Reste des frühen *H. sapiens* in Afrika. Dieser Makel wurde nun getilgt: Von drei stark zertrümmerten Schädeln, die der Paläontologe Tim White von der Universität von Kalifornien in Berkeley schon 1997 bei dem Dorf Herto im Gebiet von Middle Awash in Äthiopien ausgegraben hatte und die laut radiologischer Datierung 160 000 Jahre alt sind, konnte jetzt einer in mühsamer Kleinarbeit zusammengesetzt werden. Dabei zeigten sich typische Eigenheiten des modernen *Homo sapiens*. Die weit auseinander liegenden Augen sind dagegen ein urtümliches Merkmal. Das macht deutlich, dass es sich um eine Übergangsform handelt. White ordnet sie daher in eine neue Unterart ein: *Homo sapiens idaltu*. *(Nature, 12.6. 2003, S. 742)*

© JAY MATTERNESS

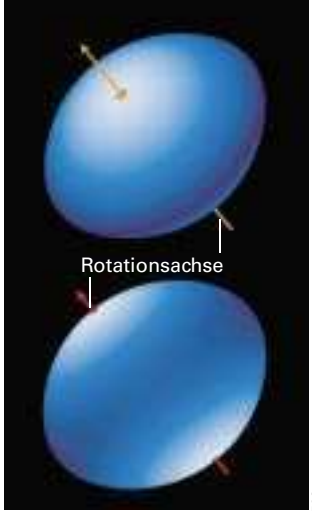
© DAVID L. BRILL / BRILL ATLANTA

▼ Schädel (unten) und Rekonstruktion (rechts) des 160 000 Jahre alten *Homo sapiens idaltu* wirken ziemlich modern.

ASTRONOMIE

Platter Stern

Für Astronomen ist er ein alter Bekannter: der 145 Lichtjahre von der Erde entfernte Alpha Eridani, auch Achernar genannt. Umso überraschender kam daher nun die Erkenntnis, dass er nicht kugelrund ist wie die Sonne, sondern flach wie ein Diskus. Armando Domiciano de Souza vom Observatoire de la Côte d'Azur und seine Kollegen maßen mit dem Very Large Telescope der Europäischen Südsternwarte auf dem Paranál in Chile den Durchmesser des Sterns in verschiedenen Richtungen. Demnach ist Alpha Eridani in der Äquatorebene, wo sein Radius 8,4 Millionen Kilometer beträgt, mindestens 50 Prozent dicker als in Richtung der Pole. Der Grund dafür ist ein Rätsel. Bisherigen spektroskopischen Studien zufolge rotiert Achernar zwar am Äquator mit Geschwindigkeiten von 225 Kilometern pro Sekunde. Trotzdem ist die resultierende Fliehkraft nicht groß genug, um die Abplattung zu erzeugen. Vielleicht dreht sich der Stern, der etwa die sechsfache Sonnenmasse hat, in Wahrheit noch schneller, oder die Rotationsgeschwindigkeit nimmt von außen nach innen zu. *(Astronomy and Astrophysics, im Druck)*



ESO

▲ Stellarer Diskus: Alpha Eridani in zwei möglichen Orientierungen

EVOLUTION DES MENSCHEN

Lieber nackt als mit Läusen im Pelz

Rein äußerlich unterscheidet sich der Mensch von den anderen Primaten vor allem durch eines: Er hat kein Fell. Abgesehen von Scham- und Kopfbehaarung bedeckt unsere Haut nur ein weicher Flaum. Die übliche Erklärung ist, dass der Frühmensch in heißen Klimazonen so seine Körpertemperatur besser regulieren konnte. Nun propagieren Mark Pagel von der Universität Reading und Walter Bodmer aus Oxford eine andere These. Demnach half Nacktheit vor allem gegen Parasiten. Aus dem Fell lassen sich Zecken, Flöhe und Läuse nur mühsam entfernen; dagegen ist befallene Kleidung rasch und einfach zu reinigen. Die beim Lausen gesparte Zeit stand für produktivere Tätigkeiten zur Verfügung. Auch die Übertragung von Krankheiten durch Parasiten war erschwert. Die entscheidende Frage ist nun, wann wir unser Haarkleid verloren. Nach Pagel und Bodmer dürfte das erst vor 500 000 Jahren geschehen sein, als der Mensch gelernt hatte, mittels Behausungen, Feuer und Kleidung für eine angenehme Hauttemperatur zu sorgen. Nach den bisherigen Vorstellungen müssten wir dagegen schon vor 2 Millionen Jahren zum nackten Affen geworden sein. *(Proc. Royal Soc. B: Biology Letters, 9.6.2003)*

VERHALTEN

Das Autan der Affen

MICKEY GIBSON / OKAPIA

Kapuzineraffen schützen sich mit Benzochinon aus dem Sekret von Tausendfüßlern gegen Mücken.

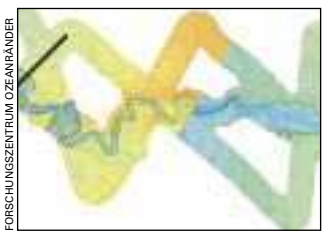
Bei frei lebenden Kapuzineraffen in Venezuela entdeckten Zoologen vor kurzem ein seltsames Verhalten: Die Tiere zerdrücken Tausendfüßler und reiben sich mit deren Sekret ein. Die Wissenschaftler vermuteten als Grund dafür, dass das in der Absonderung vorkommende Benzochinon den Affen als natürliches Insektizid zur Abwehr lästiger Stechmücken dient. Aber erst jetzt lieferten der Zoologe Paul Weldon und sein Team an der Smithsonian Institution in Front Royal (Virginia) den Beweis für diese Annahme. Zum einen belegten sie die abschreckende Wirkung von Benzochinon auf Moskitos: Eine Silikon-Membran, die menschliches Blut bedeckte, verlor ihre Anziehungskraft auf Stechmücken, wenn sie mit der Chemikalie bestrichen wurde. Zum anderen zeigten die US-Forscher, dass auch bei den Affen allein das Benzochinon zählt. Als Weldon in einem Wildgehege lebenden Tieren Tücher gab, die er mit der übel riechenden Substanz getränkt hatte, rieben sie sich sofort den Körper damit ein. Bei seinem nächsten Besuch kamen ihm die Affen sogar schon von weitem entgegengerannt und rissen ihm die Tücher regelrecht aus der Hand. Für Menschen ist das Mittel freilich nicht zu empfehlen: Benzochinon wirkt ätzend und kann Krebs verursachen. *(Naturwissenschaften, Juli 2003, S. 301)*

GEOGRAFIE

Tiefsee-Canyon vor Mauretaniens Küste

Topfeben stellen die Meeresbodenkarten das Gebiet vor der Küste Mauretaniens dar. Jetzt müssen sie kräftig überarbeitet werden; denn Geowissenschaftler um Horst Schulz vom DFG-Forschungszentrum Ozeanränder in Bremen entdeckten jüngst an dieser Stelle einen riesigen Canyon am Grund des Atlantiks. Auf einer Länge von 200 Kilometern schlängelt er sich in vielen Kehren und Windungen durch den Meeresboden, während er vom Küstenbereich über den Kontinentalhang zur Tiefsee zieht. Mit hydroakustischen Vermessungen ließ sich die Schlucht noch bis in Wassertiefen von mehr als 3000 Metern nachweisen. Dort schneidet sie sich 300 Meter tief und zwei bis drei Kilometer breit in den Fuß des Festlandsockels ein. Ihre Entstehung ist noch unklar. Seismische Untersuchungen der tieferen Schichten ergaben jedoch, dass der Canyon schon seit mindestens 10 Millionen Jahren existiert. Heute wie damals dient er als Rutschbahn für Schlammmassen: Bodenproben aus seinem Inneren dokumentieren, dass sich alle paar Jahre ein so genannter Trübestrom, eine Mischung aus Sediment und Wasser, durch die Rinne abwärts wälzt. *(Forschungszentrum Ozeanränder der DFG, 21.5.2003)*

Kurvenreich schlängelt sich der Canyon durch den von rechts nach links abfallenden Meeresgrund.



FORSCHUNGSZENTRUM OZEANRÄNDER

TRANSPLANTATIONSMEDIZIN

Einfallstor für Schweineviren

Wegen fehlender Spenderorgane sterben allein in den USA durchschnittlich 16 Menschen am Tag. In Zukunft sollen Leber, Niere und Herz gentechnisch »vermenschlichter« Schweine den Mangel beheben. Neben dem Abstoßungsproblem birgt die Xenotransplantation aber ein weiteres unkalkulierbares Risiko: Im Erbgut der Schweine verborgene Viren, die für die Tiere harmlos sind, könnten beim Menschen schwere Erkrankungen hervorrufen. In Zellkulturen ließ sich bereits ein Befall durch ein Retrovirus aus dem Schweine-Genom (PERV) nachweisen. Bei der teils schon praktizierten Nierendialyse mit Schweinezellen ist zwar bisher noch kein Virusbefall aufgetreten. Bevor lebende Gewebe vom Tier auf den Menschen transplantiert werden dürfen, muss das Risiko jedoch genau einschätzbar sein. Nun wurden zwei Rezeptor-Moleküle identifiziert, die PERVs Zugang in menschliche Zellen gewähren. Das eröffnet die Möglichkeit, den Virusbefall und seine Auswirkungen am Mäusemodell genau zu untersuchen. Dazu muss man die Nager gentechnisch so verändern, dass sie die beiden menschlichen Rezeptor-Moleküle produzieren, und dann Schweinegewebe auf sie übertragen. *(PNAS, 27.5.2003, S. 6759)*

Schweine tragen Viren im Erbgut, die beim Empfänger ihrer Organe Erkrankungen auslösen könnten.

CLIVE DRUETT / CORBIS

Die siegreiche Strategie des Grippevirus

Epidemiologen warnen vor der nächsten Pandemie durch ein besonders bösartiges Influenzavirus. Wie nah die Gefahr ist, zeigte jüngst die Geflügelpest: Nur zu leicht hätte sich jener Erreger in ein verheerendes menschliches Grippevirus verwandeln können.

Von Robert G. Webster
und Elizabeth Jane Walker

Gewöhnlich bedrohen Grippeepidemien vor allem schwache, ältere und kränkliche Menschen. Doch an der »Spanischen Grippe« starben 1918 und 1919 zur Hälfte zuvor kerngesunde Leute im Alter zwischen zwanzig und vierzig Jahren. Diese schwerste Influenza-Pandemie des 20. Jahrhunderts forderte weit über 20 Millionen Tote, mehr als die Schlachtfelder des Ersten Weltkriegs. Weltweit erkrankten damals schätzungsweise 500 Millionen Menschen.

Nach Ansicht vieler Epidemiologen kann sich Ähnliches jederzeit wieder ereignen. Erst 1997 rechneten sie mit dem Schlimmsten, als in Hongkong sechs Menschen an einem Vogelgrippe-Virus starben. Doch noch hatte sich das Virus glücklicherweise nicht so weit verändert, dass es auch von Mensch zu Mensch übertragbar war: Die insgesamt 18 infizierten Personen hatten sich auf den dort üblichen Geflügelmärkten direkt an Hühnern angesteckt. Influenzaviren entwickeln oft sehr schnell neue Eigenschaften. Um dem vorzubeugen, musste unverzüglich sämtliches in Hongkong zum Verkauf angebotene Federvieh – über eine Million Vögel – getötet werden. Einer neuen Grippe-Pandemie hätte, so berechneten damals Experten, weltweit ein Drittel der menschlichen Bevölkerung zum Opfer fallen können.

Wie sich herausstellte, handelte es sich bei dem Hongkonger Influenzavirus tatsächlich um einen neuen Stamm. Solche verheerenden Grippe-Erreger, gegen die Menschen bisher keine Immunität besitzen, treten in unregelmäßigen Abständen immer wieder auf. Meist geschah dies alle paar Jahrzehnte, manchmal aber auch in kürzeren Intervallen. Pandemien – seuchenartig auftretende, weltweite Epidemien – verzeichneten Epidemiologen vor dem Ersten Weltkrieg zuletzt in den Jahren 1890 und 1900. Die schwere Grippewelle von 1957/58, die eine Million Tote forderte, wurde als »Asiatische Grippe« bezeichnet. Bei der »Hongkong-Grippe«, der Pandemie von 1968/69, starben in Deutschland zwischen 20 000 und 30 000, weltweit über 800 000 Menschen. Viele Opfer forderten auch die Influenza-Epidemie von 1976, als »Schweine-Grippe« bezeichnet, und die »Russische Grippe« von 1977.

Alarmfall Geflügelpest

Zwar gingen bisher die besonders katastrophalen Epidemien wahrscheinlich meist von Ostasien aus, doch auch in anderen Gegenden der Welt könnte praktisch jederzeit plötzlich ein neuer dem Menschen gefährlicher Influenza-Stamm auftauchen. Als in diesem Jahr in Belgien, Holland und auch Deutschland die Geflügelpest auftrat, hätte dies unter anderen Umständen schnell zu einer schweren menschlichen Grippe ausarten können. Die Bezeichnung »Geflügelpest« ist irreführend: Denn die Krankheit wird von Influenzaviren erzeugt, und zwar von demselben Virus-Typ, der die menschlichen Grippe-Pandemien verursacht.

MIT FREUNDLICHER GENEHMIGUNG DER AUTOREN

In der Regel ist der Erreger der Geflügelpest für den Menschen wenig gefährlich, und eine Infektion erzeugt bei ihm nur sehr geringe Symptome. Doch haben die großen Grippewellen der Vergangenheit erwiesen, dass sich das Vogelvirus unter bestimmten Voraussetzungen immer wieder so verwandelt, dass es die menschliche Bevölkerung heimsucht.

Wann und auf welche Weise der nächste hochgefährliche Influenza-Stamm mit dem Potenzial für eine Grippe-Pandemie auftauchen wird, können Wissenschaftler bisher nicht vorhersagen. Doch wie dies im Prinzip geschieht, verstehen sie schon recht genau. Sie wissen, wie der Erreger aufgebaut ist, aus welchen Molekülen er besteht, wie er die menschlichen Zellen infiziert und wie er sich darin vermehrt. Forscher haben sogar bereits viel darüber herausgefunden, wie das Virus sein Gesicht und seine Eigenschaften wandelt und so plötzlich immer wieder höchst gefährliche neue Stämme erzeugt. Einen solchen neuen Stamm erkennt dann nicht einmal das Immunsystem eines Menschen, der bereits eine Virusgrippe durchgemacht hat.

Um die ständige akute Gefahr einer Influenza-Pandemie zu bannen, sind Anstrengungen auf allen Ebenen vonnöten. Die Mediziner, Gesundheitsbehörden und anderen Entscheidungsträger brauchen dazu auf nationaler wie internationaler Ebene die massive Unterstützung der Politik. Vertrackterweise stehen manchen wirksamen Maßnahmen altüberkommene Verhaltensmuster der Bevölkerungen gegenüber. Dazu gehören nicht zuletzt die in Asien – aber auch im Westen, etwa in New York – beliebten Märkte für lebendes Geflügel sowie die Haltung von Schweinen in engem Kontakt mit Menschen. Wir möchten mit diesem Artikel jedoch nicht Ängste schüren, sondern aufklären. Möglichst viele Menschen sollten die Sachlage kennen und die Hintergründe verstehen. Das würde unser aller Chance erhöhen, die nächste Pandemie abzuwehren.

Schon 1972 erkannten Wissenschaftler, dass die großen Influenza-Epidemien ▷

Das Foto mit dem Autor und einem jungen chinesischen Kollegen entstand 1997 in Hongkong an dem Tag, als dort sämtliches Geflügel getötet werden musste. Influenzaviren waren von Hühnern auf Menschen übergesprungen.

▷ von offenbar gesunden Wasservögeln ausgehen. Wildenten, Möwen und andere Küstenvögel beherbergen die Erreger in ihrem Darm und scheiden die Viren mit dem Kot aus. Da diese Vogelarten oft weite Strecken ziehen, verbreiten sie den Erreger über große Distanzen.

Zwischenwirte als Brutstätte für gefährliche Virusstämme

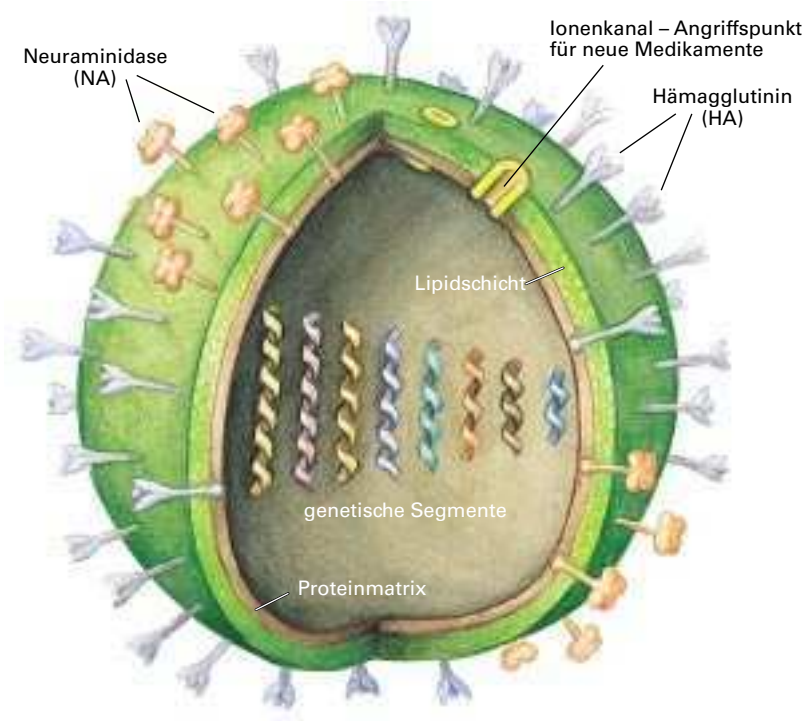
Diese Vogelviren vermehren sich im Menschen schlecht. Das kann sich allerdings leicht ändern, wenn sie vorher einen Zwischenwirt befallen haben, der auch mit menschlichen Influenza-Stämmen infizierbar ist. Denn die unterschiedlichen Virusformen können dann Komponenten voneinander übernehmen – und erscheinen plötzlich mit neuen, dem Menschen gefährlichen Eigenschaften. Ein bisher harmloses Vogelvirus wird auf diese Weise manchmal für den Menschen hochinfektiös, falls es die Fähigkeit gewinnt, sich in dessen Atemwegen einzunisten und zu vermehren.

Bei den Zwischenwirten handelt es sich meist um Haustiere des Menschen. Wale und Robben können ebenfalls Brutstätten darstellen. Auch Pferde und Farmnerze infizieren sich gelegentlich mit Vogelvirus-Stämmen. Eine besondere Gefahr bedeuten aber Hausgeflügel und Hausschweine, die mit Vogelkot verunreinigtes Wasser trinken. Die Zwischenwirte können der Infektion durchaus erliegen – vorher jedoch den Menschen mit dem neuen Erreger anstecken.

Wahrscheinlich dienten in der Vergangenheit besonders oft Schweine als lebende Laboratorien für gefährliche neue Influenza-Stämme des Menschen. Ihre Zellen bieten sowohl dem Humanvirus als auch dem Virus der Wildvögel günstige Bedingungen. Tragen die Schweine gleichzeitig ein menschliches und ein Vogel-Influenzavirus, besteht die Gefahr, dass ein neuer hochgefährlicher Stamm entsteht.

MIT FREUNDLICHER GENEHMIGUNG VON GOPAL MURTI, ST. JUDE KINDERKLINIK

Für Grippe-Pandemien waren bisher offenbar immer Influenza-A-Viren verantwortlich. In der Falschfarbenaufnahme ist hier gut die Virushülle erkennbar. Deren Moleküle stellen zwar Angriffspunkte für das Immunsystem und für Medikamente dar, können sich aber auch immer wieder entziehen.



ALLE GRAFIKEN: AMERICAN SCIENTIST

Influenzaviren vom Typ A besitzen acht einzelne genetische Segmente aus einsträngiger RNA. In Subtypen klassifiziert werden sie nach zwei Oberflächenproteinen: Hämagglutinin (HA), das in 15 Varianten vorkommt, und Neuraminidase (NA), die in neun Varianten auftritt.

Es verwundert nicht, dass bisher die meisten der von Epidemiologen rekonstruierten Influenza-Pandemien ihren Ursprung in China hatten. In Ostasien leben die Menschen oft mit ihren Haustieren, auch mit Geflügel und Schweinen, auf engstem Raum zusammen, und auf den Geflügelmärkten werden die Vögel in drangvoller Enge gehalten. Solche Bedingungen sind geradezu ein Nährboden für neue Influenzaviren. Beispielsweise stammte der Erreger, der in Hongkong 1997 sechs Menschen tötete, von Wildvögeln. Er hatte über Gänse, Wachteln und Krickenten Gene anderer Virus-Stämme aufgenommen (siehe Kasten Seite 54). Bevor das Virus auf Menschen übersprang, waren Tausende von Hühnern verendet. Dies ist der erste dokumentierte Fall, dass ein Influenzavirus direkt von Geflügel auf den Menschen übergegangen war.

Was macht die Influenzaviren so besonders bedrohlich? Warum sind sie dermaßen wandlungsfähig? Grippeviren treten in drei Gattungen auf, Typ A, B und C genannt. Alle drei können den Menschen infizieren, doch wohl nur die Typen A und B verursachen bei ihm eine schwere Grippe. Typ B ruft in der menschlichen Bevölkerung zwar auch häufig Epidemien hervor, doch diese verbreiteten sich bisher nicht sehr weit. Erst kürzlich wurde jedoch auch dieser Typ in Tieren – bei Seehunden in den Niederlanden – nachgewiesen.

Die bisher erforschten Grippe-Pandemien gingen alle auf den Typ A zurück, der in einer Anzahl Untertypen (Subtypen) auftritt und von Vögeln abstammt. Der Typ A befällt eine Reihe von Vogel- und Säugerarten, wobei er sich jeweils an die Wirtsart anpasst. Falls zwei Untertypen in einem Wirt zusammentreffen, können sie anhand der genetischen Ausstattung des jeweils anderen ihre Eigenschaften neu zusammenstellen. Genetiker sprechen dann von einem Antigensprung (deutsch-englisch Antigen-Shift). Das Vi-

rus trägt nun völlig neue »Antigene«, Erkennungsmoleküle für das Immunsystem. Genauso können verschiedene Varianten (Stämme) desselben Untertyps Gene voneinander übernehmen und sich so immerfort an neue Verhältnisse anpassen. Einen Antigensprung fürchten Epidemiologen beim Grippevirus besonders deswegen, weil so plötzlich Erreger mit neuen Eigenschaften auftreten können, gegen die menschliche Populationen noch keine Immunität besitzen. Dergleichen ereignet sich nach den bisherigen Beobachtungen mehrmals pro Jahrhundert.

Wie die Influenza-Antigene ihr Gesicht verändern

Der Tauschmechanismus bei einem Antigensprung erklärt sich aus der Art des Genmaterials der Influenzaviren. Die Influenza-Erreger gehören zur Familie der Orthomyxoviridae. Ihr Erbmaterial besteht aus RNA (Ribonucleinsäure), das in mehreren kurzen Einzelstücken, so genannten Segmenten, vorliegt. Der Typ A beispielsweise enthält als Erbmaterial acht RNA-Stücke. Darin liegen die Gene für insgesamt mindestens zehn Proteine (pro Segment eines oder zwei). Von diesen Proteinen sind besonders zwei für die Immunerkennung wichtig, weil sie in der Außenhülle des Virus eingebaut werden, aus der sie nach außen ragen (Bild links oben). Wenn sich die Erreger mithilfe ihrer Wirtszellen vermehren, sammeln sie quasi für jedes neue Virus die acht RNA-Segmente zusammen. Befindet sich in der Zelle gleichzeitig ein anderer Stamm oder Subtyp eines Typ-A-Virus, kann auch dessen Erbmaterial in Partikel der neuen Virusgeneration verpackt werden.

So können praktisch jederzeit neue, hochgefährliche Erreger mit neu sortierten Genen entstehen, die einzelne Eigenschaften beider Virus-Stämme kombinieren. Theoretisch sind dabei 256 (2^8) unterschiedliche Nachkommen möglich. Allerdings unterscheiden Epidemiologen die Untertypen von Typ A nur anhand der beiden Proteine in der Außenhülle.

In Schweinen können sich Influenzaviren unterschiedlicher zoologischer Herkunft mischen, das heißt voneinander neue Gene übernehmen – und damit neue, fatale Eigenschaften ausbilden. Vermutlich kamen viele Grippe-Pandemien der Vergangenheit auf diesem Wege zu Stande.

Auch durch einen weiteren, weniger ungewöhnlichen Mechanismus verändern Influenzaviren ihr Aussehen immerzu: durch punktuelle Mutationen der Gene, wodurch auch die Proteine einzelne neue Bausteine erhalten. Denn wenn beim Vervielfältigen der Erbmoleküle falsche Bausteine in die Erbstränge geraten, wird dies bei so genannten RNA-Viren nicht ausgebessert – anders als in unserem aus doppelsträngiger DNA bestehenden Erbgut. Genetiker sprechen von Antigen-Drift: Das Virus schleicht sich vor dem Immunsystem gewissermaßen davon.

Schon durch diese punktuellen Mutationen erscheinen die Viren immerfort in verändertem Gewand. Hat jemand eine Grippe-Infektion überstanden, erkennt sein Immunsystem den betreffenden Virusstamm: Die Person verfügt dann über spezifische Antikörper vor allem gegen die beiden Proteine auf der Virusaußenhülle. Da gerade die Gene dieser Proteine aber sehr oft zu mutieren pflegen, besitzt der Betreffende unter Umständen schon für die nächste Grippewelle keine Immunität. Manchmal genügt schon ein einziger ausgetauschter Baustein im Molekül, damit das Virus dem Immunsystem des Wirts entkommt.

Eines der beiden viralen Oberflächenmoleküle, Hämagglutinin (HA), ist dafür zuständig, dass sich das Virus an Zellen des Wirts anlagert und nun eindringen kann. Das zweite, eine Neuraminidase (NA), hilft den neu entstandenen Viren, sich aus der Wirtszelle zu befreien und somit weitere Zellen zu befallen.

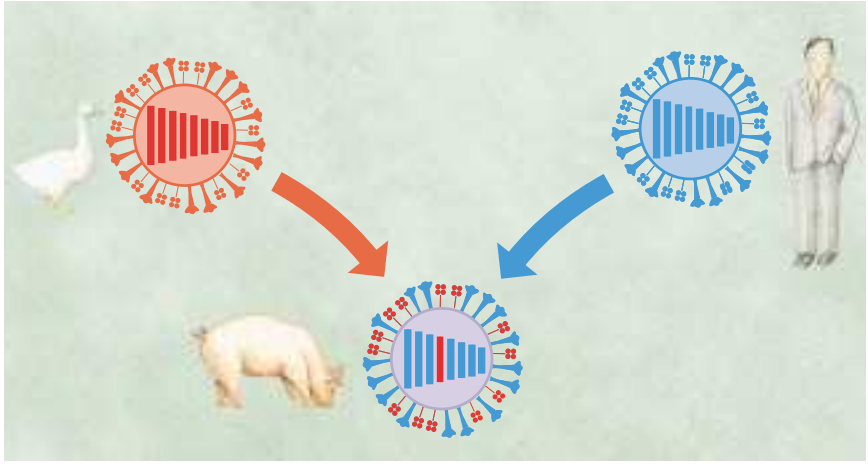
Von HA fanden Molekularbiologen bisher bei Influenza-A-Viren 15 Untertypen, die sie als H1 bis H15 durchnummerieren. Erst einige wenige von ihnen sind bisher bei menschlichen Influenzaviren aufgetreten (siehe Bild Seite 55). Bei Vögeln jedoch kommen alle 15 Untertypen vor. Von NA sind beim Virustyp A neun Untertypen bekannt, N1 bis N9.

Wie Epidemiologen inzwischen wissen, verursachten die Pandemie von 1918/19 Viren der Subtypen-Zusammensetzung H1N1. Die gleiche Kombination trat 1976 bei der »Schweine-Grippe« auf. Die Todesfälle in Hongkong von 1997 gingen allerdings auf die neue Kombination H5N1 zurück.

Wahrscheinlich beschrieb schon der griechische Arzt Hippokrates im Jahr 412 vor unserer Zeitrechnung eine Influenza-Epidemie. Erstmals belegt ist eine Grippe-Pandemie im Jahr 1580. Seit Jahrtausenden scheint das Influenzavirus als Verwandlungskünstler immer wieder über die Menschheit herzufallen, bald nur leicht verändert, bald mit ganz neuem Gesicht. Diese Krankheit zu besiegen, die in fast jedem Winter ihre Todesopfer fordert und offenbar in jedem Jahrhundert mehrmals sehr schwer zuschlägt, darum bemühen sich die Menschen seit langem. Doch bis heute konnten Virusforscher trotz jahrzehntelanger Bemühungen nicht herausfinden, warum gerade das H1N1-Influenzavirus von 1918 so besonders bösartig war.

Das Rätsel der Pandemie von 1918/19

Sie exhumierten eigens damals Verstorbene aus den Permafrostböden Nordnorwegens und Alaskas, um Proben des Erregers von 1918 zu beschaffen. Die Forscher untersuchten auch Proben von Lungengewebe damals gestorbener Personen. Anhand dessen erkannten sie, dass der Erreger von Vögeln stammte und zugleich eng mit einem Influenza-Stamm verwandt war, der Schweine infiziert. Hatte ein Antigen- ▷



INTERVIEW

Den Teufel nicht für Beelzebub vernachlässigen

Reinhard Kurth vergleicht für Spektrum der Wissenschaft »Äpfel mit Birnen« und nimmt die Erreger von SARS und Influenza unter die Lupe.

ROBERT KOCH-INSTITUT BERLIN

Professor Reinhard Kurth ist Präsident des Robert Koch-Instituts in Berlin. Für ihn war der Ausbruch der Geflügelpest nicht weniger beunruhigend als SARS.

Spektrum der Wissenschaft: Herr Professor Kurth, in den letzten Monaten hat SARS für jede Menge Aufregung gesorgt und wurde doch immer wieder mit der Grippe verwechselt. Was haben die Krankheiten gemeinsam und worin unterscheiden sie sich?

Prof. Dr. Reinhard Kurth: Nun, zunächst handelt es sich ja um völlig verschiedene Erreger: Während die Grippe von Influenzaviren verursacht wird, entsteht SARS durch ein Coronavirus. Trotzdem beobachten wir auch viele Gemeinsamkeiten, zum Beispiel bei der anfänglichen Symptomatik. Beide beginnen mit relativ hohem Fieber, starkem Krankheitsgefühl sowie Atemwegssymptomen, wie zum Beispiel Husten. Auch Muskel- und Kopfschmerzen sind typisch für beide Erkrankungen. In der frühen Phase ist eine Grippe also kaum von SARS zu unterscheiden. Ein Labortest für beide Erreger ist hilfreich, wobei ein negatives Ergebnis SARS nicht ausschließt.

Spektrum: In der Übertragungsweise ähneln sich die Viren ja ebenfalls.

Kurth: Ja, beide Erreger werden vor allem durch die Atemluft, also durch Tröpfcheninfektion, übertragen. Aber hier gibt es auch einen Unterschied: Im Gegensatz zu Influenzaviren werden SARS-Erreger auch mit dem Stuhl ausgeschieden, sodass theoretisch auch Schmierinfektionen auftreten können.

Spektrum: Für die Epidemiologie spielt die Herkunft der Viren auch eine große Rolle.

Kurth: Ja, wir wissen, dass beide Erreger aus dem Tierreich stammen und sich so weit an den Menschen angepasst haben, dass sie von Mensch zu Mensch übertragen werden. Bei Influenza kennen wir das natürliche Reservoir ganz gut: Es sind in erster Linie Wildvögel, vor allem Wassergeflügel, das dann wiederum Zuchtvögel, etwa Hühner, ansteckt. Auch das Schwein kann »neue Viren« hervorbringen, weil es als »Mischgefäß« für menschliche und Vogelviren fungieren kann. Bei der Erforschung des Reservoirs von SARS sind wir noch nicht ganz so weit. Zibetkatzen stehen unter Verdacht, aber mit Sicherheit kann das noch keiner sagen. Sobald wir den natürlichen Wirt kennen, müssen Maßnahmen eingeleitet werden, die den

▷ sprung das Virus so gefährlich gemacht? Oder hatte eine kleine Mutation diese fatale Wirkung? Von der Entzifferung des gesamten Genoms dieses vertrackten Erregers erhoffen sich die Wissenschaftler auch Aufschluss darüber, warum gerade die Spanische Grippe so viele Todesopfer forderte. Vielleicht werden Erkenntnisse über die Genome von Erregerstämmen und ihrer Wirte bald auch ermöglichen, endlich vorherzusagen, ob ein bestimmtes Tiervirus die Artgrenze zum Menschen zu überwinden droht.

Nach den Hongkonger Todesfällen von 1997 leitete die Weltgesundheitsorganisation WHO dazu sofort wissenschaftliche Untersuchungen ein. Molekulare Analysen bei zweien der Opfer ergaben bei ihnen ungewöhnlich große Mengen von Cytokinen. Solche Proteine – etwa Interferon oder der Tumornekrosefaktor Alpha – regulieren die Heftigkeit und Dauer der Immunabwehr. Sie wirken schon bei der so genannten angeborenen Immunantwort mit, die bei einer Infektion sofort einsetzt und sich unspezifisch gegen jegliche Krankheitserreger richtet (während Antikörper erst später aufkommen und spezifisch wirken). Cytokine bilden gewissermaßen die erste Abwehrlinie im Kampf gegen Viren.

Schon eine kleine Mutation täuscht die Immunabwehr

In der Zellkultur riefen H5N1-Viren – der Untertyp, der vor ein paar Jahren in Hongkong aufgetreten war – eine auffallend starke Cytokin-Reaktion hervor. Beim Menschen kann dies einen toxischen Schock mit Fieber, Schüttelfrost, Erbrechen und Kopfschmerzen auslösen und tödlich enden. Zwar verhindern Cytokine manchmal die Ausbreitung des Virus, doch offenbar fand das H5N1-Virus einen Weg, um die Wirkung der Cytokine zu unterlaufen. Anscheinend antwortete das Immunsystem der erwähnten Patienten darauf mit einer um so höheren Ausschüttung von Cytokinen.

Inzwischen wurde bei H5N1-Viren ein Gen identifiziert, dass dabei wohl mitwirkte. Als das verdächtige Virusgen in einen bislang gutartigen Influenza-Stamm gelangte, erkrankten damit infizierte Schweine erheblich stärker und länger und magerten mehr ab als durch den nicht veränderten Stamm. Auch enthielt ihr Blut eine besonders große Menge Viren. Anscheinend unterdrückte das neue Genprodukt die virustötende Wirkung der Cytokine. Wie sich andeutet, scheint es bestimmte Gene für einen molekularen Signalweg anzugreifen, an dessen Ende sonst Cytokine ausgeschüttet werden. So aber wird die Freigabe unterbunden.

Kontakt zwischen diesen Tieren und dem Menschen so reduzieren, dass ein erneuter Sprung auf den Menschen weitgehend vermieden werden kann.

Spektrum: Der Erreger könnte also jederzeit wieder überspringen. Sind wir auf einen erneuten Ausbruch besser vorbereitet oder ist es denkbar, dass sich das Virus genauso verändert, wie wir es vom Influenza-Erreger kennen?

Kurth: Die Gefahr, dass das SARS-Virus von seinem natürlichen Wirt wieder auf den Menschen überspringt, besteht natürlich immer. Coronaviren sind genetisch aber viel stabiler als Influenza-Erreger. Sie verändern sich zwar auch schnell, weil sich bei der Vervielfältigung ihres RNA-Genoms leicht Fehler einschleichen, aber Neustrukturierungen des Genoms, die bei Influenza zu den gefürchteten Antigen-Shifts führen können, sind nicht zu erwarten.

Spektrum: Die große Katastrophe, eine Pandemie mit den Ausmaßen einer Spanischen Grippe, ist also für SARS nicht zu befürchten?

Kurth: Bei einem Wiederausbruch kommt es sehr auf die Umstände an: Wo bricht SARS aus, wer bemerkt dies und vor allem, wie schnell und konsequent wird gehandelt. Die wichtigsten Maßnahmen, Isolation, Quarantäne und Infektionsschutz, haben sich bewährt und würden wieder zum Einsatz kommen. Falls nochmals eine Situation wie in China eintreten sollte, dass die Behörden die Sache monatelang herunterspielen, ist eine weltweite Verschleppung vorprogrammiert. Aber davon gehe ich nicht aus. Zudem werden die labordiagnostischen Tests, die ja sehr rasch verfügbar waren, ständig weiter verbessert. Dies würde ebenfalls helfen, die Krankheit einzudämmen – vielleicht sogar schneller, als es diesmal der Fall war.

Spektrum: In der Aufregung um SARS ist der Ausbruch der Geflügelpest in Holland und am Niederrhein fast untergegangen. Deren Auftreten hat Ihnen doch sicherlich auch Kopfzerbrechen bereitet.

Kurth: Ja, das hat uns große Sorgen gemacht. Wir haben die Geflügelpest in Holland sehr genau beobachtet und standen in engem Kontakt mit unseren dortigen Kollegen. Die Situation war sehr heikel. Die Krankheit hat einen Toten gefordert, es gab gut achtzig Fälle von Bindehautentzündungen und zwei bis drei Sekundärinfektionen, bei denen das Virus sehr wahrscheinlich direkt von Mensch zu Mensch übertragen wurde. Es könnte also sein, das der Influenza-Subtyp A/H7N7 dabei ist, sich an den Menschen zu adaptieren.

Spektrum: Hätte die Sache in der Grippezeit schlimmer ausgehen können?

Kurth: Es war ein großes Glück, dass die Geflügelpest in Holland erst zum Ende der Grippezeit auftrat. Denn so war die Wahrscheinlichkeit geringer, dass durch Doppelinfektion eines Menschen neue gefährliche Virusvarianten entstehen. Andererseits sind im Februar und März, also in der Hauptsaison für Influenza, glücklicherweise die Zugvögel noch nicht da, die den Erreger oft über weite Distanzen verbreiten.

Spektrum: Lässt sich abschätzen, ob von SARS oder Influenza die größere Gefahr ausgeht?

Kurth: Nun, das hieße ein bisschen Äpfel mit Birnen vergleichen. Nach allem, was wir bis heute wissen, ist der SARS-Erreger für den Erkrankten gefährlicher, aber Influenzaviren sind im Regelfall infektiöser. Es werden also viel mehr Menschen angesteckt, weshalb auch mehr an Influenza sterben. Aber SARS ist ebenfalls relevant, und man kann nicht den Teufel wegen Beelzebub vernachlässigen – bösartig sind beide.

Das Interview führte **Stefanie Reinberger**, promovierte Biologin und Wissenschaftsjournalistin in Heidelberg.

Bei dem verdächtigen Gen des Hongkonger Virus hatte sich nur eine einzige Punktmutation ereignet. Dadurch war in dem zugehörigen Protein an der betreffenden Stelle eine Aminosäure ausgewechselt – mit der in dem Fall fatalen Folge, dass das Molekül nun an entscheidender Stelle anders aussah. Das genügte, damit ein wesentlich virulenterer Stamm entstand. Ob der Erreger von 1918/19 wegen ähnlicher winziger molekularer Umbauten besonders aggressiv war, muss sich erweisen. Zu hoffen ist, dass solche Befunde neue Angriffspunkte für Grippemedikamente liefern.

Vor zwei Jahren tauchte das H5N1-Virus wieder auf Hongkongs Geflügelmärkten auf, diesmal in einer neuen Variante. Es gelang, die Hühner rechtzeitig zu töten, bevor Menschen sich ansteckten. Auch im letzten Jahr trat ein wieder anderes H5N1-Virus auf. Offensichtlich kursieren im Südosten Chinas in wilden Vögeln immer noch Viren, die dem Stamm von 1997 ähneln.

Am Ende des Ersten Weltkriegs standen gegen die Influenza weder virushemmende Medikamente zur Verfügung noch Antibiotika oder Impfstoffe, um Bakterien zu bekämpfen oder fern zu halten, die in den geschädigten Schleimhäuten oder sonst im Körper oft schwerste Sekundärinfektionen erzeugen. Auch eine Grippe-Impfung gab es nicht. Heute ist zwar alles das vorhanden, doch bleibt die Bekämpfung schwierig.

Wegen der extremen Wandelbarkeit des Influenzavirus werden alljährlich neue Impfstoffe benötigt. Über hundert Labors der Weltgesundheitsorganisation untersuchen fortwährend die in der Bevölkerung kreisenden Virusvarianten. Davon wählen sie jedes Jahr zwei Stämme vom Virustyp A und einen vom Typ B, die in der kommenden Grippesaison am wahrscheinlichsten eine Epidemie auslösen könnten. Der Impfstoff ist aus Komponenten aller drei Stämme zusammengesetzt – was zugleich bedeutet, dass er gegen andere, vielleicht frisch auftretende Influenza-Stämme wahrscheinlich nicht schützt.

Früher enthielten Grippe-Impfstoffe komplette Viren und verursachten schwache Grippesymptome. Heute sind sie gewöhnlich nur aus einigen Bestandteilen der Erreger konstruiert, die in der Form nicht infektiös sind. Diese in größerer Menge zu gewinnen ist allerdings mühsam, denn in Zellkulturen lassen sich Influenzaviren schlecht züchten.

Darum werden die Viren in befruchteten Hühnereiern vermehrt und anschließend inaktiviert sowie gereinigt. Gegen die beim Impfen verabreichten Komponenten bildet das Immunsystem ▷

▷ Antikörper, die unverzüglich jedes Virus erkennen würden, das die entsprechenden Proteine aufweist. Geimpfte Personen sind gewöhnlich gegen diese Virusstämme gefeit, oder zumindest verläuft die Infektion glimpflich.

In der Entwicklung befinden sich auch verschiedene neue Impfstoffe, von denen man hofft, dass sie noch besser wirken als die bisherigen. Dazu gehören Vakzine mit abgeschwächten lebenden Viren, die gewisse Vorteile bieten könnten, weil sie außer der Antikörperentwicklung auch andere Immunmechanismen anregen. Eine davon, die einfach als Nasenspray verabreicht wird, scheint bei Kindern wie Erwachsenen wirksam und ungefährlich zu sein. Vielleicht wäre sogar eine so genannte genetische Impfung möglich. Bei dieser Vorgehensweise erhält der Organismus im Prinzip DNA-Material mit Bauanweisungen für Proteine des Erregers.

Um im Falle einer Pandemie die passende Vakzine sehr schnell in den benötigten Mengen bereitstellen zu können, möchte man die Impfstoffproduktion gern erheblich beschleunigen. Herstellung, Prüfung und Verteilung dauern heute bei einem völlig neuen Stamm sieben bis acht Monate, also viel zu lange, um eine drohende Pandemie gleich im Keim zu ersticken. Bisher werden die Ausgangsviren für die Grippe-Impfstoffe gewöhnlich erst mühsam und langwierig neu konstruiert und dann vermehrt. Sechs der für die Viren gewählten Gene entstammen Virus-Untertypen wie H1N1, die bereits schwere Epidemien erzeugten.

Die HA- und NA-Gene werden von gerade kursierenden Erregern beigesteuert. So wird das Immunsystem mit den aktuellen Varianten dieser entscheidenden Erkennungsmerkmale konfrontiert. Neuerdings gelingt es, die acht benötigten genetischen Abschnitte schneller zu gewinnen, indem man sie in so genannten Plasmiden – künstlichen doppelsträngigen DNA-Molekülen – vermehrt. Daraus lässt sich dann in Zellen eine Vakzine produzieren.

Die Impfbereitschaft muss zunehmen

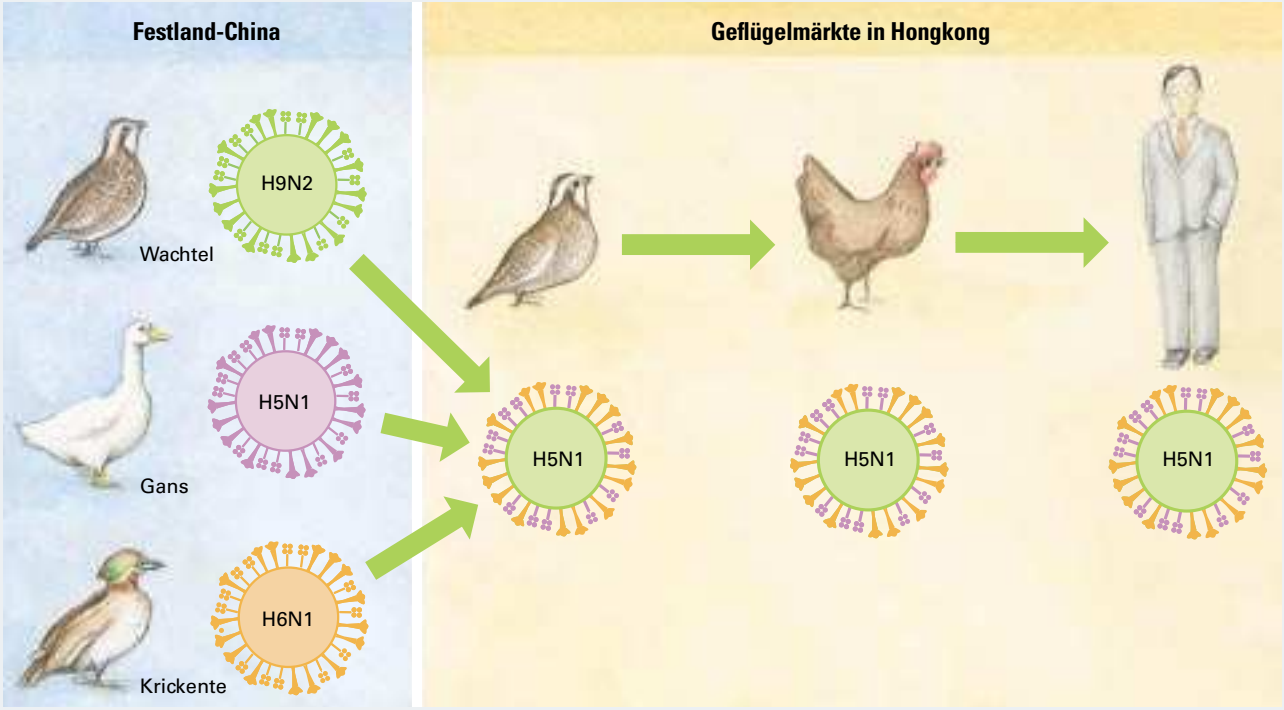
Der Nutzen der jährlichen Grippe-Impfung ist vielfach erwiesen. Je größer der Anteil Grippegeimpfter in der Bevölkerung ist, desto weniger leicht kann sich das Virus ausbreiten. Was viele nicht bedenken: Auch wer sich gesund fühlt, kann den Errreger in sich tragen und Mitmenschen anstecken. Die Gesundheitsbehörden propagieren, dass sich nicht nur ältere Personen und Risikopatienten mit chronischen Krankheiten regelmäßig gegen Influenza impfen lassen sollten, sondern auch Kinder, Lehrer sowie all jene, die sonst zu vielen Menschen Kontakt haben. Eine Studie erwies, wie

Wie ein neues Virus entsteht

Fallbeispiel Hongkong 1977

Das Hongkonger Virus, das 1997 für Aufruhr sorgte, entstand vermutlich aus drei Influenza-Stämmen verschiedener Vogelarten, die sich vermischten. Die traditionellen Geflügelmärkte bieten den Viren dazu vorzügliche Bedingungen. Der neue Stamm könnte in Wachteln entstanden sein, denn für alle bisher daraufhin untersuchen Influenza-Stämme eignen diese sich als Wirte. Zudem können Wachteln Zwischenwirt zwischen Enten und Hühnern sein – an welchen sich dann Menschen ansteckten.

Inzwischen ist der Verkauf von Wachteln auf diesen Märkten verboten. Auch 2001 trat derselbe alarmierende Subtyp H5N1 wieder in Hongkong auf.



Nur bei Vögeln kommen sämtliche HA-Subtypen vor. Lediglich fünf sind beim Menschen aufgetreten. H5 und H9 konnten ihn zwar infizieren, haben sich bisher aber nicht so weit an den Menschen angepasst, dass er sie weitergibt. Ähnlich entwickelten einige Subtypen bei Schweinen und Robben bisher keine neuen artspezifischen Linien.

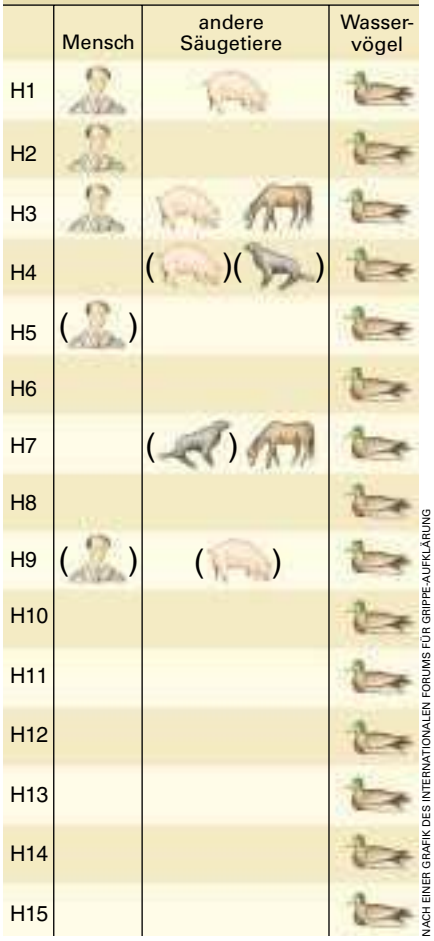
dringlich dies gerade für Ärzte und Pflegepersonal in Heimen und Kliniken ist. Viele aus diesem Personenkreises überwinden eine Virusgrippe selbst oft leicht. Dennoch stecken besonders sie sehr häufig Patienten und Heimbewohner an. Von diesem Kreis lässt sich bisher aber meist nur ein Bruchteil impfen.

Die medikamentöse Behandlung Grippe-Infizierter ist nach wie vor schwierig. Schon länger vorhandene virushemmende Medikamente wie Amantadin und Rimantadin werden wegen ihrer Nebenwirkungen vor allem in Notfällen eingesetzt. Auch sind diese Mittel eigentlich nur dann wirklich effektiv, wenn sie vorbeugend möglichst gleich nach der Ansteckung oder spätestens beim Auftreten der ersten Symptome verabreicht werden. Beide Präparate stören einen Ionenkanal in der Außenhülle des Virus. Da diesen Ionenkanal nur Typ-A-Viren besitzen, wirken solche Medikamente nicht gegen den Typ B. Wichtiger noch: Die Erreger können gegen diese Wirkstoffe schon binnen weniger Tage resistent werden, also noch während der Kranke Viren in sich trägt. Bei Personen, die er dann ansteckt, hätte das Medikament keinen Nutzen mehr.

Warum die nächste Pandemie droht

Seit kurzem gibt es allerdings Grippemedikamente, die nicht so leicht eine Resistenz hervorrufen und auch weniger Nebenwirkungen haben. Zudem wenden sie sich gegen beide Virus-Typen. Aber auch diese Präparate – beispielsweise Zanamivir oder Oseltamivir – erzielen den besten Effekt nur, wenn sie kurz nach der Ansteckung verabreicht werden. Es handelt sich um so genannte Neuraminidase-Hemmer. Sie blockieren also NA, eines der erwähnten Oberflächenproteine des Influenzavirus. Dadurch kommen von einer Wirtszelle keine neuen Viren frei. Vielmehr bleiben sie in der Zelle ihrer Herkunft und können den Organismus nicht überschwemmen.

Reservoir in der Tierwelt
Vorkommen der HA-Subtypen



NACH EINER GRAFIK DES INTERNATIONALEN FORUMS FÜR GRIPPE-AUFKLÄRUNG

Würde heute eine Pandemie ausbrechen, wäre die Welt darauf keineswegs vorbereitet. Im Zeitalter der Globalisierung könnten Flugreisende ein neues verheerendes Virus binnen Stunden in andere Erdteile tragen. Dabei würde wenig zählen, ob dieser Virus-Stamm natürlicherweise auftrat oder für terroristische Zwecke eigens angefertigt wurde. Es würde viel zu lange dauern, einen passenden Impfstoff zu entwickeln und in den erforderlichen Mengen zu produzieren.

Schon bei leichteren Grippeepidemien können die Pharmaunternehmen heute den Bedarf kaum decken. Für einen Impfstoff gegen einen neuen Influenza-Untertyp benötigt man allein Monate, um ihn überhaupt zu entwickeln. Auch die Vorräte an antiviralen Medikamenten würden niemals ausreichen. Sie in größeren Mengen herzustellen würde über ein Jahr dauern.

Eine effektive Vorbeugung ist auch eine Frage des Geldes. Bisher sind Grippe-Impfungen erst in wenigen Ländern für die Patienten kostenlos. Verglichen mit den Rüstungsausgaben bringen die Regierungen nur verschwindend wenig Geld dafür auf, Impfstoffe oder vorbeugende Grippemedikamente vorsorglich bereitzuhalten. Hier steht die Wissenschaft steht in der Verantwortung, in der Politik eine bessere Planung und Vorsorge für den Ernstfall durchzusetzten. Sparen an der falschen Stelle ist nicht angesagt, bedenkt man die unermesslichen sozialen und ökonomischen Kosten, welche eine große Influenza-Pandemie verursachen würde.

Unter den gegebenen Umständen ist die nächste Grippe-Pandemie wohl unvermeidlich. Trotz der internationalen Überwachungsprogramme könnte jederzeit wieder eine neue Influenza-Variante aus der Tierwelt auf Menschen überspringen.

Bisher ereigneten sich übergreifende Epidemien mit vielen Toten in jedem Jahrhundert mehrfach. Heute versuchen Wissenschaftler im Auftrag der Weltgesundheitsorganisation, die Erreger an der Schnittstelle zwischen Tier und Mensch akribisch zu überwachen und Ausbreitungswege frühzeitig zu erkennen. Schnelles Zugreifen verhinderte 1997 vermutlich eine weltweite Katastrophe. Doch eine Garantie können alle nationalen und internationalen Programme zusammen zurzeit nicht bieten. ◁

Robert G. Webster hat an der St.-Jude-Kinderforschungsklinik in Memphis (US-Bundesstaat Tennessee) den Rose-Marie-Thomas-Lehrstuhl für Virologie inne. Er ist Direktor des Zentrums der Weltgesundheitsorganisation für Zusammenarbeit zur Ökologie von Influenza-Viren bei niederen Tieren und Vögeln, der weltweit einzigen Einrichtung, die für die Erforschung der Schnittstelle zwischen Mensch und Tier konzipiert ist. **Elizabeth Jane Walker** ist für die Öffentlichkeitsarbeit der St.-Jude-Klinik tätig. Die Autoren danken dieser Klinik, der Organisation ALSAC und dem amerikanischen Nationalen Institut für Allergie und Infektionskrankheiten für Unterstützung.

© American Scientist Magazine (siehe www.americanscientist.org)

AUTOREN UND LITERATURHINWEISE

Entwaffnung von Grippeviren. Von W. G. Laver, N. Bischofberger und R. G. Webster in: Spektrum der Wissenschaft 3/1999, S. 70.

Dossier: Seuchen. Spektrum der Wissenschaft. 3/1997.

Weblinks, auch zu weiterer Literatur, finden Sie bei www.spektrum.de unter »Inhaltsverzeichnis«.

Mineralwasser

Aus der Quelle in die Flasche

Von Thomas Hens

Mal still, mal mit Kohlensäure, im Gehalt an Mineralien variierend – das Lebensmittel Mineralwasser gibt es in Deutschland in sonst seltener Vielfalt. Im Unterschied zum Tafelwasser muss es direkt aus einem unterirdischen Vorkommen stammen. Es darf keinerlei Verunreinigung zeigen, denn Verordnungen untersagen die Desinfizierung von Mineralwässern. Erlaubt sind lediglich das Herausfiltern bestimmter Inhaltsstoffe – etwa von Eisen – und der Zusatz von Kohlensäure. Das Nass muss auch direkt am Quellort auf Flaschen gefüllt werden, das Zapfen etwa aus Fässern wie bei Limonaden oder Tafelwässern in der Gastronomie ist verboten.

Dass dieses Naturprodukt zum Lebensmittel avancierte, verdankt es dem langen und in der Werbung viel gepriesenen Weg aus der Tiefe: Bis die Regentropfen durch die Erdschichten in die Wasser führenden Schichten in meist 100 bis 200 Meter Tiefe, in Einzelfällen auch in bis zu 1000 Meter, gelangen, vergehen Jahrzehnte bis Jahrtausende. In dieser Zeit wird das Wasser immer wieder von den verschiedenen Gesteinsschichten filtriert und mit Mineralien sowie Spurenelementen angereichert. In vulkanischen Erdformationen nimmt das einsickernde Wasser darüber hinaus auch noch natürliche Kohlensäure aus dem erstarrten Magma auf. Je nach den geologischen Gegebenheiten unterscheiden sich die Produkte deshalb in ihrer Zusammensetzung. So gewinnen Abfüller in der Vulkaneifel vorwiegend Mineralwässer mit sehr hohem Kalzium- und Magnesiumgehalt, Salzlagervorkommen hingegen setzen Chlorid zu.

Etwa hundert Liter Mineralwasser trinkt der Deutsche im Durchschnitt pro Jahr. Den täglichen Bedarf an Flüssigkeit von etwa 2,5 Litern decken lediglich Kräutertees unter physiologischen Aspekten ebenso wirkungsvoll.

Nachweislich schätzten schon die Römer und Germanen den Durstlöscher. Im 19. Jahrhundert waren Trinkkuren beim wohlhabenden Bürgertum beliebt und es entstanden die ersten Kurbäder. Man nutzte Quellen, die artesisch, das heißt mit eigenem Wasserdruck ohne technische Förderung an die Oberfläche sprudelten. Zum Transport und zur Bevorratung dienten Tonkrüge, die mit Siegellack verschlossen wurden. Erst Mitte des 20. Jahrhunderts erlaubten moderne Bohrtechniken die Erschließung und Nutzung nicht-artesischer Quellen. Zudem kamen Glasflaschen mit Bügelverschluss auf.

Der wirtschaftlichere und für die Großserienproduktion besser geeignete Schraubverschluss aus Aluminium setzte sich ab 1969 durch, damals entstand auch die 0,7-Liter-Glasflasche mit perlenartiger Oberflächenzier. In den vergangenen zwanzig Jahren drängte dann die PET (Polyethylenterephtalat)-Flasche auf den Markt, seit etwa fünf Jahren genügt die Qualität dieses Kunststoffs den Anforderungen der Mineralwasser-Abfüller. Der Vorteil für den Verbraucher: geringeres Gewicht. Die Hersteller profitieren von der guten Formbarkeit des Materials: Mit vergleichsweise geringem maschinellem Aufwand lassen sich Flaschen produzieren, deren Design beispielsweise ein neues Markenimage verkörpert. ◁

Der promovierte Chemiker **Thomas Hens** leitet die Getränke- und Verpackungsentwicklung bei der Firma Gerolsteiner Brunnen.

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts schossen bei Bohrungen in Gerolstein meterhohe Fontänen aus dem Boden. Diese fantasievolle Darstellung eines solchen Quellenausbruchs (Maler unbekannt) zierte eine Speisekarte, auf deren Rückseite die Heilwirkungen des Wassers beschrieben waren.

Die Aluminiumkapsel einer Glasflasche erhält ihr Innengewinde erst beim Aufdrehen auf das Gewinde der Flasche. Weicher Kunststoff dichtet die Kapsel ab und gleicht Unebenheiten aus.

Kapseln aus Polypropylen verschließen PET-Mehrwegflaschen. Der Deckel presst eine separate Dichtungsscheibe auf den Hals. Bei Einwegflaschen übernehmen Dichtungslippen diese Funktion, die Kapsel besteht aus dem weicheren Polyethylen.

Mineralwässer enthalten zahlreiche Mineralstoffe und Spurenelemente, die auf dem Etikett aufgelistet sein müssen. So spielen Natrium und Kalium eine wichtige Rolle im Flüssigkeitshaushalt, Kalzium wird in Knochen und Zähne eingebaut. Magnesium wird für die Nervenleitung benötigt und Spurenelemente wie Zink und Lithium bei Stoffwechselprozessen.

WUSSTEN SIE SCHON?

Mineralwasser ist das einzige Lebensmittel, das vor dem Verkauf eine amtliche Anerkennung benötigt. Gewinnung, Abfüllung und sämtliche Qualitätsparameter müssen genau beschrieben sein und dürfen später nicht von der Verordnung abweichen.

Bei Einführung des Schraubverschlusses 1969 erwarteten die Abfüller, dass der Verbraucher die Kapseln entsorgen würde. Doch das Leergut kam samt Verschlüssen zurück. Weil es keine Maschinen gab, diese automatisch zu entfernen, wurden in aller Eile Provisorien aus Metallfeilen installiert: Sie drehten die Kapsel durch Reibung ab. Bald erkannten die Produzenten aber den Vorteil der Verschlüsse: Sie schützen das empfindliche Außengewinde der Flaschen beim Rücktransport.

Der Begriff »enteisent«, der auf vielen Flaschen prangt, bedeutet nicht, dass dem menschlichen Körper beim Genuss Eisen entzogen wird (dies wäre »enteisend«). Vielmehr kennzeichnet er eine Vorbehandlung des Wassers: Weil Eisen oxidieren, sprich rosten kann und damit das Produkt trüben würde, entfernt man es vor dem Abfüllen meist durch Filtration über Quarzkies und -sand.

Jährlich werden mehr als 10 Milliarden Glas- und PET-Flaschen (auf Grund der großen Vielzahl an Flaschentypen liegen leider keine genauen Zahlen vor) von den Mineralwasserunternehmen zurückgenommen, gereinigt und wiederbefüllt. Dabei fallen zirka 10 000 Tonnen Aluminium und 4500 Tonnen PET aus den Verschlüssen an; sie werden in den Rohstoffkreislauf zurückgeführt.

ABBILDUNGEN: GEROLSTEINER BRUNNEN, FLASCHENILLUSTRATION: THOMAS BRAUN

Gletscherschwund im Himalaya

Die globale Erwärmung lässt auch im Himalaya die Gletscher schmelzen. Die Folgen sind fatal: Kurzfristig drohen verheerende Überschwemmungen durch Ausbrüche anschwellender Gletscherseen, langfristig ist die Wasserversorgung großer Teile Ostasiens gefährdet.

Von Gunther Jauk

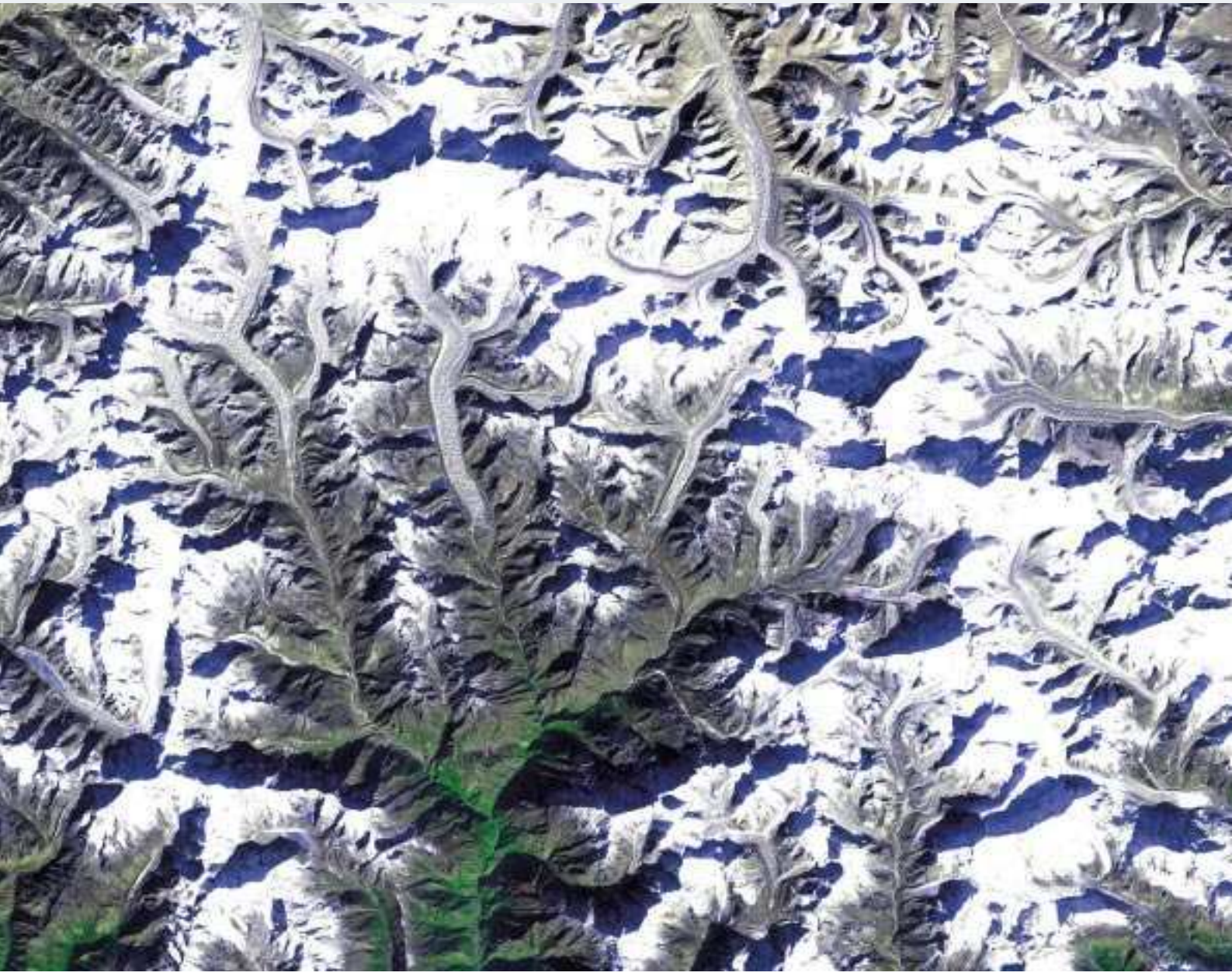
Gletscher spiegeln letztlich die allgemeine Klimaentwicklung wider: Bei sinkenden Temperaturen rücken sie vor, bei Erwärmung ziehen sie sich zurück. Die letzte Kältephase mit Gletschervorstößen dauerte vom 15. bis zum 19. Jahrhundert und wird im Volksmund »Kleine Eiszeit« genannt. Seither erleben wir eine Rückzugsphase. Dabei hat sich das Abschmelzen der Gletscher in den letzten Jahrzehnten allerdings dramatisch beschleunigt. Verantwortlich dafür ist zumindest teilweise die globale Erwärmung auf Grund des Treibhauseffekts von Gasen wie Kohlendioxid, die der Mensch in großen Mengen freisetzt.

Hinzu kommt, dass die Temperatur im Hochgebirge stärker ansteigt als im Flach- und Hügelland. So ist es seit den 1970er Jahren laut Angaben des nepalesischen Department of Hydrology and Meteorology im Hohen Himalaya um jährlich 0,12 Grad Celsius wärmer geworden, im tropischen Tiefland an der Grenze zu Indien dagegen nur um 0,06 Grad. Auch lokale menschliche Aktivitäten fördern den Rückzug der Gletscher. Beispielsweise vermindern großflächige Abholzungen mittelfristig die Niederschläge, sodass sich immer weniger Neuschnee ansammelt.

Als höchstes Gebirgsmassiv der Welt ist der Himalaya vom Gletscherschwund besonders betroffen. Das gilt vor allem für seine östlichen und zentralen Bereiche, die sich in der Monsunzone befinden. Dort beschränken sich die Niederschläge auf den Sommer. Die Gletscher sind damit doppelt gefährdet: einerseits vom Anstieg der Schneegrenze und andererseits vom Nachlassen der Niederschläge, die noch dazu vermehrt als Regen niedergehen.

Ein negativer Rückkopplungseffekt verschlimmert die Situation. Weißer Neuschnee reflektiert einen großen Teil der einfallenden Sonnenstrahlung in den Weltraum – er hat, fachsprachlich ausgedrückt, eine sehr hohe Albedo. Dagegen absor-

JEFFREY KARGEL, USGS / NASA / JPL / AGU



LANDSAT 7 TEAM / GSFC / NASA

Aus dem All erscheinen die vielen Gletscher im Himalaya besonders eindrucksvoll. Allein in Bhutan, von dem hier ein Bild des Satelliten Aster vom November 2001 dargestellt ist, sind es laut einer jüngsten Zählung 677. In Nepal gibt es sogar 3252 Gletscher – die Landsat-Aufnahme vom Januar 2002 (oben) zeigt die Khumbu-Region in der Nähe des Mt. Everest. Die Eiszungen reichen oft weit unter die Schneegrenze herab. Wegen der globalen Erwärmung weichen sie allerdings immer mehr zurück, und das Schmelzwasser staut sich in Gletscherseen hinter der Endmoräne. Wenn diese bricht, kann es zu schweren Überflutungen kommen. Wissenschaftler schätzen 20 Gletscherseen in Nepal und 24 in Bhutan als potenziell gefährlich ein.

biert verschmutzter Altschnee oder Geröll das Sonnenlicht wesentlich stärker und wandelt es in Wärme um. Diese Wärme wiederum beschleunigt das Abschmelzen der Eismassen zusätzlich.

Besonders eindrucksvoll ist die dramatische Entwicklung an einem der größten unter den etwa 6500 Himalayagletschern zu erkennen: dem heute noch etwa 25 Kilometer langen Gangotri-Gletscher, der als Quelle des Ganges bezeichnet werden kann. Der indische Geologe Ajay K. Naithani untersuchte zwischen Mai 1996 und Oktober 1999 die Moränen dieses Eisstroms, um festzustellen, wie weit er früher reichte. Allein während der dreieinhalbjährigen Forschungen zog sich »Gaumukh« – wie die Gangotri-Gletscherzunge genannt wird – um 76 Meter zurück. Noch Mitte des 19. Jahrhunderts reichte sie fast zwei Kilometer weiter hangabwärts. Zwischen 1842 und 1935 büßte sie jährlich im Mittel 7,3 Meter an Länge ein, zwischen 1935 und 1995 waren es schon 19 Meter. Die größten Massenverluste aber traten in den letzten drei Dekaden auf: Von 1971 bis 1996 verkürzte sich der Gletscher pro Jahr durchschnittlich um 34 Meter, insgesamt also um 850 Meter.

Ein augenfälliges Anzeichen für das schnelle derzeitige Schmelzen ist auch, dass sich unter dem Einfluss enormer Deformationskräfte am Zungenende Längs- und Querspalten bilden. Wenn diese sich schneiden, entstehen große Eisblöcke, die häufig vom Gletscher abbrechen. Man findet sie bis 400 Meter unterhalb ▷

▷ des heutigen Zungenendes. Nach Aussage von Naithani hat Gaumukh wegen seiner großen Dynamik und durch das stetige Abbrechen von Eisblöcken im April und Mai 1999 fast täglich sein Aussehen verändert.

Der weltweite Gletscherschwund erscheint vor allem deshalb bedrohlich, weil er den momentanen Klimawandel plastisch vor Augen führt. Im Himalaya birgt er jedoch auch konkrete Gefahren – unmittelbare wie langfristige. Wegen der hohen Reliefenergie brechen dort unablässig Felsen und Geröll ab und sammeln sich auf den Gletschern, die dadurch voller Schutt sind. Den laden sie großenteils an ihrem vorderen Rand als Moränen ab. Die so aufgeschütteten Wälle bestehen aus einer Mischung von Gesteinsbrocken und Eis, das gleichsam als Mörtel dient. Dadurch eignen sie sich hervorragend als natürliche Staumauern, die ein Abfließen des Schmelzwassers verhindern. Hinter ihnen bildet sich deshalb ein See, der immer größer und tiefer wird. Irgendwann hält die stauende Moräne dem enormen Wasserdruck aber nicht mehr stand und bricht. Dann wälzt sich eine Flutwelle – in der Fachsprache »Glof« *(glacier lake outburst flood)* genannt – mit zerstörerischer Gewalt zu Tal.

NASA EROS DATA CENTER / THOMAS BRAUN

Bedrohliche Stauseen am Gletscherende

Gletscherseeausbrüche sind zwar kein neues Phänomen. So existieren schon seit 450 Jahren Aufzeichnungen darüber. Aber ihre Häufigkeit droht dramatisch zu steigen. Das lassen Luftbilder aus dem Himalaya erahnen. Wegen der fortschreitenden Gletscherschmelze vor allem in den letzten drei Jahrzehnten haben Anzahl und Größe von Hochgebirgsseen auf dem Dach der Welt deutlich zugenommen. Inzwischen gibt es dort Tausende solcher Zeitbomben.

Welche Katastrophen sie auslösen können, wurde Forschern, Planern und verantwortlichen Politikern 1985 in erschreckender Deutlichkeit demonstriert. Am 4. August dieses Jahres entleerte sich der Gletschersee Dig Tsho innerhalb weniger Stunden in das Langmochetal. Glücklicherweise forderte der Wasserausbruch zwar nur fünf Menschenleben, aber die Verwüstungen waren enorm. Alle 14 Brücken auf den 42 Kilometern zwischen Langmoche und Jubing, ein kleines Wasserkraftwerk und viele Wohnhäuser wurden zerstört. Einige Familien verloren ihren gesamten Besitz. Manche Gebäude wurden von den Wassermassen direkt mitgerissen, andere rutschten nachträglich ab, weil die Flussterrassen durch die starke Seitenerosion nachgaben.

Schwer wog auch der Verlust an landwirtschaftlichen Flächen und die Ver-

Der Gangotri-Gletscher, der als Quelle des Ganges gilt, ist nach Untersuchungen des indischen Geologen Ajay K. Naithani in den vergangenen 150 Jahren um fast zwei Kilometer geschrumpft. Sein Rückzug hat sich in letzter Zeit deutlich beschleunigt.

ICIMOD, UNEP RRC.AP

Der bisher schwerste Gletscherseeausbruch ereignete sich 1985 am Dig Tsho, als die stauende Endmoräne unter dem Wasserdruck nachgab. Binnen Stunden hatte sich der See entleert (unten links). Die Flutwelle hinterließ im tiefer gelegenen Langmochetal eine Schneise der Verwüstung (links), die auch auf der Luftaufnahme des Gebiets zwischen Thame und Namche Bazar als Geröllspur zu erkennen ist (unten rechts). 14 Brücken und viele Wohnhäuser wurden zerstört; fünf Menschen starben.

ICIMOD, UNEP RRC.AP

ROBERT KOSTKA, TECHNISCHE UNIVERSITÄT GRAZ

nichtung von großen Waldgebieten. Im Flussbett blieb teilweise sehr grobes Material zurück, angefangen von wie Streichhölzer geknickten Baumstämmen bis zu ganzen Felsblöcken. Die starke Erosionswirkung der Flutwelle und die Zerstörung des Waldgürtels, der den Hang stabilisierte, zog unzählige weitere kleinere Felsstürze nach sich. Diese Instabilität blieb über Jahre hinweg bestehen und machte sich vor allem in den Sommermonaten bei heftigem Monsunregen unangenehm bemerkbar.

Zwischen 1985 und 1995 sind in Nepal weitere 15 größere Gletscherseen ausgebrochen, die meisten im regenreichen Osten des Landes. Eine der jüngsten Überschwemmungen ereignete sich am 3. September 1998 in Inkhu Khola am Fuße des Mt. Everest. Die Bewohner des Ortes berichteten von ohrenbetäubendem Lärm und Vibrationen, die sie am frühen Morgen aufschrecken ließen. Dann stürzten enorme Mengen an Wasser und Schlamm talwärts und rissen große Gesteinsbrocken mit. Die Glof bildete einen 30 Meter hohen Geröllwall bei der Einmündung des Flusses Dudh-Koshi, zerstörte die Wetterstation von Rabuwa Bazaar und erreichte gegen Mitternacht das Koshi-Wehr an der nepalesisch-indischen Grenze. Zwei Personen kamen in den Bergdistrikten Solukhumbu und Okhaldhunga ums Leben; die Sachschäden gingen in die Millionen Dollar.

Seit der Tragödie von Dig Tsho im Jahre 1985 widmet sich das staatliche nepalesische Kommissionssekretariat für Wasser und Energie (WECS) mit technischer Unterstützung der japanischen Regierung verstärkt der Erforschung des Glof-Phänomens. In seinem Auftrag hat der Kartograf Sharad Joshi in den letzten Monaten zahlreiche Schauplätze von Gletscherseeausbrüchen besucht. Viele Seen erscheinen auf den ersten Blick klein und harmlos, ▷

Gletschertypen

Unterschiede zwischen Alpen und Himalaya

Die Gletscher im Himalaya unterscheiden sich deutlich von denen, die uns aus Europa vertraut sind. Die Alpengletscher gehören meist zum so genannten Firnmuldentyp. Dabei sammelt sich der feste Niederschlag in einer Flachform (Mulde, Kar, Hangnische, Hangstufe), die über der Schneegrenze liegt. Vergletschert nur dieses Sammelgebiet, spricht man von Kargletschern. Bei stärkerer Eisbildung und genügend Nachschub an Schnee schiebt sich aus der Firnmulde eine mehr oder weniger lange Zunge talabwärts.

Der Himalaya ist viel zerklüfteter und steiler als die Alpen. Oberhalb der Schneegrenze gibt es deshalb meist keine flachen Stellen, an denen sich größere Schneemengen ansammeln können. Deshalb werden die Gletscher zum großen Teil von Lawinen ernährt, die von den umliegenden Steilhängen abgehen und sich in Talkesseln fangen. Sie gehören folglich zum Firnkesseltyp. Liegt der gesamte Gletscher unter der Schneegrenze und wird er ausschließlich von Eis- und Schneelawinen gespeist, spricht man vom Lawinenkesseltyp.

Wegen der hohen Reliefenergie des Himalaya erscheinen die Gletscher dort auch meist nicht bläulich weiß, sondern schmutzig grau. Von den steilen Bergflanken bricht nämlich unablässig Gestein ab, das sich auf ihrer Oberfläche ablagert. Durch das starke Schuttvorkommen entstehen zudem äußerst imposante Moränen. Oft erhöhen Gletscher sogar ihr eigenes Bett, indem sie Moränenrampen bilden. Man spricht dann von Dammgletschern. Beim Abschmelzen des Eises wirken die gewaltigen Moränen als Wälle, hinter denen sich Gletscherseen aufstauen.

ABBILDUNGEN DIESER DOPPELSEITE: ICIMOD, UNEP RRC.AP

Die Bildung des Tsho-Rolpa-Sees am Zungenende des Trakarding-Gletschers lässt sich im Längs-Zeit-Profil gut verfolgen (rechts unten). In den 1950er Jahren existierte noch keine zusammenhängende Wasserfläche. Sie entstand erst im folgenden Jahrzehnt und nahm dann rapide an Länge und Tiefe zu. Der wachsende See trennte dabei einen Toteis-Keil vom Trakarding-Gletscher ab. Ende der 1990er Jahre stand der Tsho Rolpa kurz vor einem Ausbruch. Über einen kleinen Abfluss trat 1997 Wasser aus (oben links). Das digitale Höhenmodell (oben rechts) zeigt, wie schwach die Endmoräne nur noch war; die rote Linie markiert den Rand der Wasseroberfläche.

▷ sagt er. Doch er mahnt zur Vorsicht: Das Risiko großer Überschwemmungen besteht trotzdem.

Im Jahr 1999 starteten auch das International Centre for Integrated Mountain Development (ICIMOD) und das United Nations Environment Programme (UNEP) in Zusammenarbeit mit den Regierungen von Nepal und Bhutan ein Projekt mit dem Ziel, die Bedrohung durch Glofs besser einschätzen zu können und die gefährlichsten Gletscherseen zu erkennen. Zu dem Vorhaben gehörte insbesondere die groß angelegte Vermessung von Gletschern und Gletscherseen im Osthimalaya anhand von topografischen Karten, Luftbildern und Satellitenaufnahmen (Landsat, Spot, IRS). Voriges Jahr

Gletscher und Naturkatastrophen

Gefährliche Eisströme

Auch in Europa haben Gletscher in der Vergangenheit große Überflutungen verursacht. Das geschah beispielsweise mehrfach während der »Kleinen Eiszeit«, die um 1600 begann und in der Mitte des 19. Jahrhunderts ausklang. Damals stießen Alpengletscher wiederholt aus Seitentälern weit in die Haupttäler vor und behinderten dort den Abfluss des Wassers aus höher gelegenen Gebieten. So trafen im Tiroler Ötztal der Vernagt- und der Guslarferner zwischen 17. und 19. Jahrhundert mehrfach zusammen. Mit ihren Eismassen versperrten sie das Rofental südwestlich von Vent und stauten die Rofen-Ache mehrfach zu Seen auf. Im Jahre 1848 fasste ein solcher See 3 Millionen Kubikmeter Wasser. Plötzliche Ausbrüche erzeugten Flutwellen, die im gesamten Ötztal Schäden anrichteten.

Im Mont-Blanc-Gebiet brachen 1892 zwei wassergefüllte Hohlräume – so genannte Wasserstuben – im Glacier de Tête Rousse. 100000 Kubikmeter Wasser flossen auf einmal ab und rissen Eis und Schutt in einem gewaltigen Strom zu Tal. Das Dorf Bionnay wurde zerstört, und es gab zahlreiche Todesopfer. Seither wird der Abfluss des Gletscherwassers durch Stollen geregelt.

Schmelzwasserausbrüche gibt es auch in Gebieten mit aktivem Vulkanismus. Man bezeichnet sie dort als Gletscherläufe. Im Jahre 1996 verursachte eine Vulkaneruption unter dem Vatnajökull auf Island einen solchen Gletscherlauf, dessen Flutwelle großräumige Zerstörungen anrichtete. Weil das betreffende Gebiet wegen ähnlicher Ereignisse in der Vergangenheit nur dünn besiedelt ist und das Schmelzwasser einige Tage brauchte, bis es sich seinen Weg ins Freie gebahnt hatte, kamen allerdings keine Menschen zu Schaden. Ein tragischeres Schicksal ereilte das kolumbianische Städtchen Armero. Am 13. November 1985 brach der 40 Kilometer nördlich gelegene Nevado del Ruiz aus, nachdem er anderthalb Jahrhunderte geruht hatte. Die austretende Lava selbst war harmlos, aber ihre Hitze ließ den Gletscher schmelzen. So entstand eine Schlammlawine, die mit 64 Kilometern pro Stunde zu Tal stürzte und Armero unter sich begrub. Fast alle Einwohner, über 22000 Menschen, starben.

wurden die Ergebnisse präsentiert. Demnach gibt es in Nepal 3252 Gletscher und 2323 Gletscherseen. Obwohl Bhutan nur über 677 Gletscher verfügt, haben sich dort noch mehr Seen aufgestaut: insgesamt 2674. Die Wissenschaftler schätzen 24 davon als potenziell gefährlich ein – in Nepal geht von 20 eine starke Bedrohung aus. In den nächsten Jahren dürfte sich die Situation weiter verschärfen; denn die Satellitenaufnahmen zeigen in Bhutan einen jährlichen Gletscherrückzug von durchschnittlich 30 bis 40 Metern.

Vier Seen werden derzeit als besonders gefährlich eingestuft: diejenigen des Thulagi-, des Unteren Barun- und des Imja-Gletschers sowie der Tsho Rolpa. Alle befinden sich am Ende von stark mit Schutt bedeckten Gletschern hinter instabilen Moränen mit Eiskern. Sie sind erstaunlich tief – teilweise mehr als hundert Meter. Ihre Aufstauung begann vor 30 bis 50 Jahren. Wie der Vergleich alter Fotos mit modernen Satellitenaufnahmen belegt, haben sie sich seither stark vergrößert.

Eine Zeitbombe wird entschärft

Am argwöhnischsten beäugen die Wissenschaftler den Tsho Rolpa, der sich etwa 110 Kilometer nordöstlich der nepalesischen Hauptstadt Katmandu auf 4580 Meter Meereshöhe am Ende des Trakarding-Gletschers befindet. Er wird von einer 150 Meter hohen Moräne aufgestaut und wächst wegen der hohen Schmelzraten des Trakarding-Gletschers, der bis zu hundert Meter im Jahr schrumpft, sehr rasch. 1999 hatte der See eine Länge von 3300 und eine Breite von 500 Metern erreicht. Seine Fläche betrug 1,65 Quadratkilometer und die Tiefe durchschnittlich 55, maximal 132 Meter. Daraus ergibt sich ein Wasservolumen von 90 bis 100 Millionen Kubikmeter.

Die Oberflächentemperatur schwankt zwischen 10 °C im Sommer und 0 °C von November bis April, wenn der See zugefroren ist. Ab 50 Meter Tiefe herrschen das ganze Jahr über konstant 2,9 °C. Im Sommer wird das warme Oberflächenwasser durch den Talwind an das obere Ende des Sees gedrückt. Dort schmilzt es den Fuß der Eismasse auf, sodass häufig Stücke davon abbrechen und in das Wasser stürzen. Diese Sommerkalbung lässt den See noch schneller wachsen. Falls die stauende Endmoräne des Tsho Rolpa bricht, ergießen sich in einer verheerenden Sturzflut 30 bis 35 Millionen Kubikmeter Wasser in das Rolwaling-Tal. Die Folgen bekämen selbst noch die 10 000 Einwohner der 108 Kilometer talabwärts gelegenen Stadt Tribeni zu spüren.

Vor fünf Jahren schrillten die Alarmglocken. Die Endmoräne hatte sich bedenklich ausgedünnt, und 50 Meter unterhalb des Dammrückens sickerte bereits Wasser durch. In dieser Situation erklärte sich die niederländische Regierung in einem bilateralen Vertrag bereit, ein auf vier Jahre veranschlagtes Projekt zu finanzieren, das durch Senkung des Wasserspiegels das Risiko einer Glof am Tsho Rolpa vermindern sollte. Inzwischen sind knapp 3 Millionen Dollar in das Vorhaben geflossen, das Anfang 1999 startete.

Ein am Grund 6,4 Meter breiter Kanal wurde ausgehoben und am oberen Ende mit einer Sperre versehen, um kontrolliert Wasser ablassen zu können – maximal 35 Kubikmeter pro Sekunde. Gut zwei Wochen nach dem Öffnen der Schleuse am 8. Juni 2000 war der Wasserspiegel des Sees immerhin bereits um drei Meter gefallen. Nach derzeitigen Schätzungen müsste er insgesamt um mindestens 20 Meter abgesenkt werden, um eine Glof völlig auszuschließen.

Parallell zu diesem Projekt beauftragte die nepalesische Regierung eine US-amerikanische und eine kanadische Firma mit der Installation eines Frühwarnsystems. Sechs Sensoren sollen einen möglichen Wasserausbruch an Ort und Stelle registrieren. Sie sind daher unterhalb der Kanalöffnung angebracht; die Moräne selbst ist zu instabil, um zuverlässig Instrumente tragen zu können. Im Ernstfall schicken die Sensoren ein Signal an zwei höher gelegene Übertragungsstationen. Von dort werden dann innerhalb von zwei Minuten per Funk 19 Warnanlagen aktiviert, die in den bedrohten Ortschaften im Rolwaling- und Tama-Koshi-Tal installiert sind. Kräftige Signalhörner und Sirenen alarmieren die Bewohner, damit diese sich schnellstmöglich in Sicherheit bringen.

Bei der Konzeption des Systems wurde darauf geachtet, dass es sich selbst mit Energie versorgt und über Redundanzen im Fall von Störungen verfügt. Jede Funkstation ist deshalb mit einem 12-Volt-Akku ausgestattet, der durch Solarzellen auf- ▷

Um einen Ausbruch des Tsho Rolpa zu verhindern, wurde 1999/2000 ein Kanal in der stauenden Endmoräne ausgehoben und mit einer regulierbaren Sperre versehen (unten). Seither lässt sich der Wasserspiegel durch Öffnen der Schleuse gezielt senken (rechts).

▷ geladen wird. Mit dieser Stromversorgung kann sie zumindest je zwei weitere Anlagen – flussauf- und -abwärts – erreichen. Sollte eine Station, aus welchem Grund auch immer, zeitweilig ausfallen, bleibt die Übertragung in die darunter liegenden Ortschaften also trotzdem gewährleistet.

Der Warnmechanismus läuft vollautomatisch ab und benötigt keine menschliche Auslösung. Das System muss jedoch permanent überwacht werden. Das geschieht in zwei Kontrollstationen in Khmiti und in Katmandu. Hier entnehmen Techniker den eingehenden Daten Hinweise auf Störungen und sorgen für die nötigen Reparaturen. Eine Masterstation in Danghadi im äußersten Südwesten Nepals, die mit vier Empfängern und einer Sendeantenne ausgestattet ist, stellt die Kommunikation zwischen den Funkanlagen in der Nähe des Gletschersees und den Kontrollstationen sicher. Da die Berge als Hindernisse die Übermittlung der Signale in direkter Linie nicht zulassen, greift man wie beim Kurzwellenradio zu dem Trick, die Reflexion der elektromagnetischen Wellen an ionisierten Meteorteilchen in der oberen Atmosphäre zu nutzen.

ROBERT KOSTKA, TECHNISCHE UNIVERSITÄT GRAZ

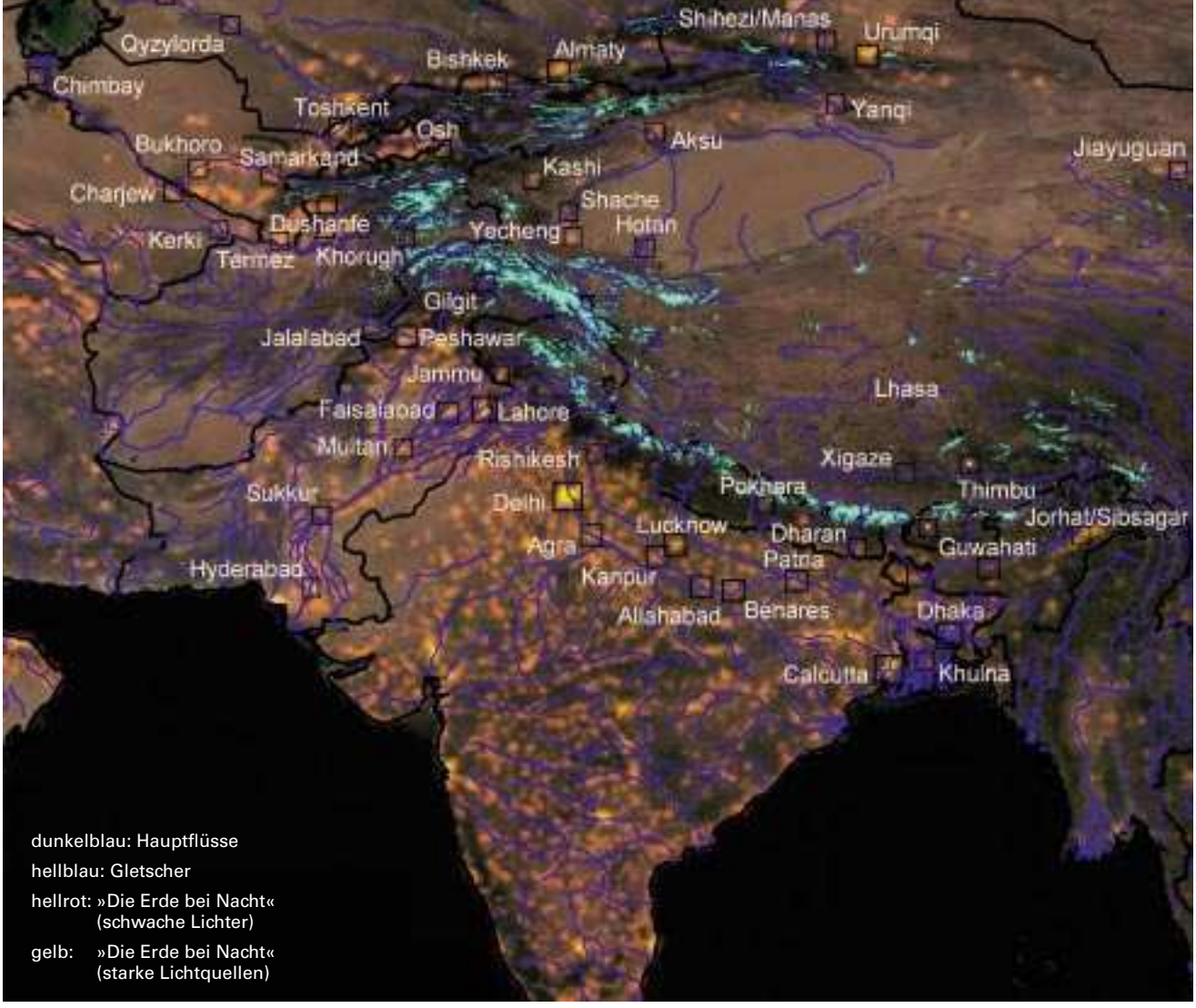
Das zweite Sorgenkind ist der Imja-Gletschersee im Khumbu Himal in der Nähe des Mt. Everest. Er erreichte im Winter 1992/93 – bei einer Länge von 1450 und einer maximalen Breite von 600 Metern – seine bisher größte Ausdehnung von 0,69 Quadratkilometern. In der Vergangenheit hat er sich hauptsächlich in Richtung Osten, also gletscheraufwärts ausgebreitet. Seit 1984 ist eine Schwächung der stauenden Endmoräne zu beobachten, weil zunehmend Toteis an ihrer Basis abschmilzt.

Auch beim Imja-Gletschersee gibt es Pläne, den Wasserspiegel mit einer einfachen Anzapftechnik zu senken. Außerdem will man wie beim Tsho Rolpa ein Warnsystem für die Bewohner des Imja- und des Dudh-Koshi-Tals entwickeln. Diese Täler sind – verglichen mit anderen auf derselben Meereshöhe in Nepal – sehr dicht besiedelt. Seit Hunderten von Jahren leben hier die Sherpas. Sie errichten ihre Häuser und bebauen das Land, wo immer es die Topografie erlaubt. Dem Imja-Gletscher am nächsten liegt das Dorf Dingboche, das allerdings nur im Sommer bewohnt ist. Weiter talabwärts schließen sich die Siedlungen Pangboche, Devoche und Phunkithangka an.

Müssen die Pilger dereinst im Staub baden?

Nach der Vereinigung mit dem Bhote Koshi trägt der Imja-Fluss den Namen Dudh Koshi. An dessen Ufern liegen wieder mehrere Siedlungen, von denen einige schon vom Ausbruch des Dig Tsho 1985 in Mitleidenschaft gezogen wurden. Bei einer neuerlichen Flut wären aber nicht nur diese Ortschaften und ihre Bewohner gefährdet. In den letzten zwei Jahrzehnten hat sich der Tourismus hier sehr kräftig entwickelt: Die Khumbu-

Auch der See am Ende des Imja-Gletschers gilt als Zeitbombe. In den 1960er Jahren entstanden, hat er sich seither enorm vergrößert. Die Luftaufnahme von 1986 lässt die mächtigen Seitenmoränen gut erkennen; das Wasser ist durch die »Gletschermilch« weißlich gefärbt. Das Imja- und das sich anschließende Dudh-Koshi-Tal sind relativ dicht besiedelt und haben sich wegen der Nähe des Lhotse und Mt. Everest zu einem El Dorado für Bergsteiger, Kletterer und Trekker entwickelt. Ein Ausbruch des Sees hätte deshalb besonders katastrophale Folgen.



Viele der großen Ströme Südostasiens entspringen Gletschern im Himalaya. Diese sammeln in der feuchten Jahreszeit Schneemassen und liefern in der Trockenzeit Schmelzwasser. Sollte ihr massiver Rückzug weitergehen, könnten sie diese Ausgleichsfunktion nicht mehr erfüllen. Dann wäre die Wasserversorgung für mehr als eine Milliarde Menschen gefährdet.

Region ist zu einem El Dorado für Bergsteiger, Kletterer und Trekker geworden. Auch diese – einschließlich der einheimischen Bergführer und Lastenträger – würden bei einem Ausbruch des Sees in Lebensgefahr geraten. Aus all diesen Gründen sind vorbeugende Maßnahmen hier äußerst wichtig. Ihre Verwirklichung scheitert aber vorerst an den fehlenden finanziellen Mitteln.

So groß die unmittelbare Bedrohung durch Überflutungen ist, verblasst sie freilich vor den verheerenden langfristigen Folgen des beschleunigten Gletscherrückzugs. Momentan sind nur Bewohner, Siedlungen und Infrastruktur in einzelnen Tälern gefährdet. Würden die Eisströme völlig schmelzen, bräche die Trinkwasserversorgung hunderter Millionen von Menschen in weiten Teilen Süd- und Ostasiens zusammen.

Die sieben wichtigsten Ströme dieser Region entspringen Gletschern: der Indus, der Ganges, der Brahmaputra, der Salween, der Mekong, der Yangtse und der Gelbe Fluss. Im Gangesbecken alleine leben 500 Millionen Menschen, die vom Flusswasser abhängig sind. Während des Monsuns im Sommer strömt es natürlich reichlich, doch in der Trockenzeit wird der Ganges zum größten Teil vom Schmelzwasser der Gletscher gespeist. Es stellt sich die Frage, wie lange deren Eisvolumen noch ausreicht, diese Ausgleichsfunktion zu erfüllen.

Seit mindestens 1300 Jahren kommen hinduistische Pilger alle zwölf Jahre nach Allahabad, um sich während der Khumb Mela durch ein Bad im Ganges von ihren Sünden zu reinigen; im Januar 2001 waren es geschätzte 30 Millionen. Schon in einigen Jahrzehnten können die Gläubigen vielleicht statt in Flusswasser nur noch in Staub baden. ◁

Gunther Jauk ist Diplom-Geograf und hat sich während seines Studiums in Graz und Wien speziell mit den Gletschern des Hohen Himalaya beschäftigt. Ganz besonders interessierte er sich dabei für die Problematik des Ausbruchs von Gletscherseen.

AUTOR UND LITERATURHINWEISE

Growth and Drainage of Supraglacial Lakes on Debris-Mantled Ngozumpa Glacier, Khumbu Himal, Nepal. Von D. I. Benn, S. Wiseman und K. A. Hands in: Journal of Glaciology, Bd. 47, Nr. 159, S. 626, 2001.

Degradation of Ice-Cored Moraine Dams: Implications for Hazard Development. Von Shaun D. Richardson und John M. Reynolds in: Debris-Covered Glaciers, IAHS Publication Nr. 264, S. 187, 2000.

Application of a Mass-Balance Model to a Himalayan Glacier. Von Rijan Bhakta Kayastha, Tetsuo Ohata und Yutaka Ageta in: Journal of Glaciology, Bd. 45, Nr. 151, S. 559, 1999.

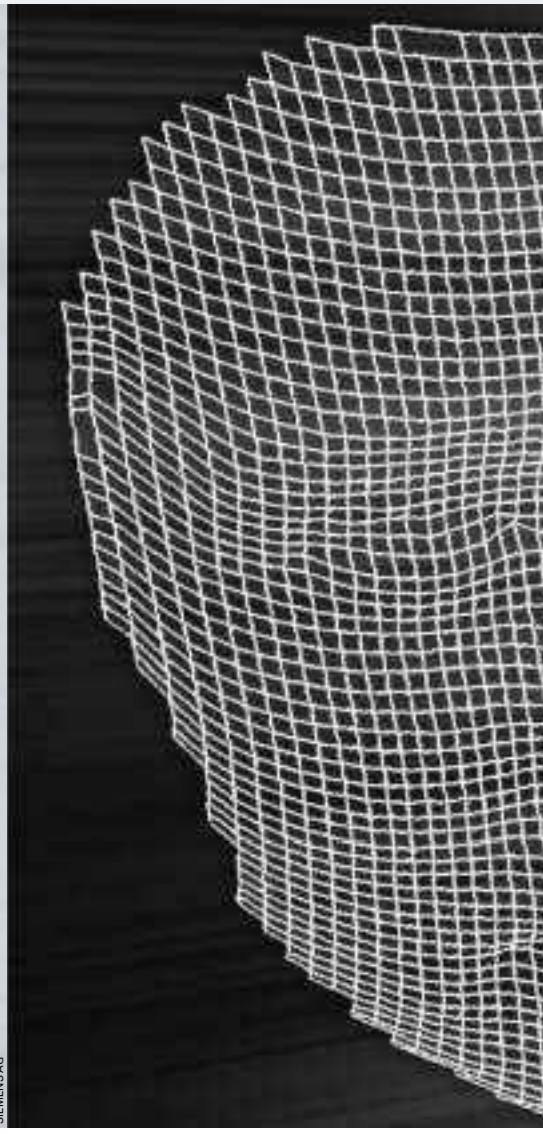
Changes in Glaciers in Hidden Valley, Mukut Himal, Nepal Himalayas, from 1974 to 1994. Von Koji Fujita, Masayoshi Nakawo, Yoshiyuki Fujii und Prem Paudyal in: Journal of Glaciology, Bd. 43, Nr. 145, S. 583, 1997.

Weblinks zu diesem Thema finden Sie bei www.spektrum.de unter »Inhaltsverzeichnis«.

REPORT

Biometrie

Individuelle körperliche Merkmale sollen Passworte und geheime Zahlenkombinationen ergänzen oder gar ersetzen. Teil II dieses Reports widmet sich den wohl komplexesten Merkmalen Gesicht, Stimme und Handschrift. Wie vermag eine Maschine anhand dieser »Muster« Personen so sicher zu erkennen, wie wir Menschen dies tagtäglich praktizieren?



SIEMENS AG

3-D-GESICHTSERKENNUNG

Ansichten eines Angesichts

Ein Blick genügt und der Freund oder Bekannte ist identifiziert. Doch wie bringt man Automaten bei, ein Gesicht zu erkennen? Industrieforscher berechnen dazu die »Höhenlinien« des Gesichtsschädels.

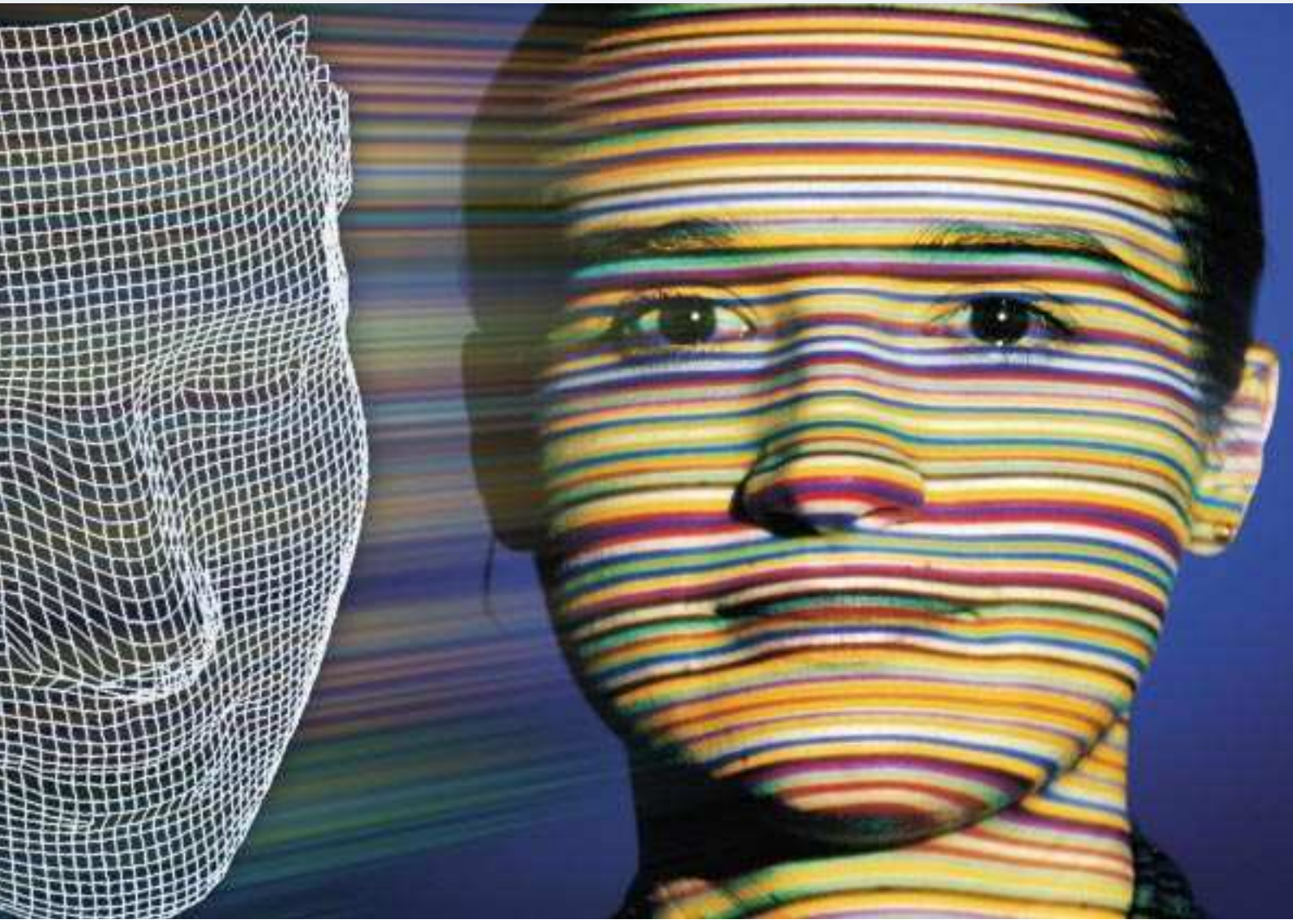
Von Ulrich Eberl

Nach ihrem Marktvolumen gemessen folgt die Gesichtserkennung in der Rangfolge biometrischer Verfahren gleich hinter der automatischen Analyse des Fingerabdrucks. Eine Untersuchung der International Biometric Group aus dem vergangenen Jahr schrieb ihr schon einen Marktanteil von über 15 Prozent zu – im Jahr 2003 dürfte der Weltumsatz der automatischen Gesichtserkennungssysteme bei über 100 Millionen Euro liegen, Tendenz stark steigend.

Gesichtserkenner werden als Zutrittskontrollen, zum Beispiel an Flughäfen, bereits ebenso eingesetzt wie bei Sortierung und Vergleich von Fahndungsbildern. Dabei basieren solche Systeme derzeit auf einer schnellen Analyse zweidimensionaler Merkmale. Doch diese Verfahren haben mehrere Nachteile: »Vor allem reagieren sie empfindlich auf Gesichtsdrehungen, unterschiedliche Mimik oder Änderungen in der Beleuchtung«, erklärt Peter Rummel von der Abteilung Power and Sensor Systems bei der Siemens Corporate Technology in München. »Wenn das Originalfoto etwa in einem Innenraum aufgenommen wurde, tun sich die meisten Systeme sehr schwer, die Person dann auch bei Tageslicht im Freien wiederzuerkennen.« Im Extremfall lassen sich 2-D-Systeme sogar durch Fotos täuschen, die vor die Kamera gehalten werden.

Streifen auf der Stirn

Ein dreidimensional arbeitendes Verfahren hätte diese Probleme nicht. Denn die räumliche Form des Kopfes bleibt unabhängig davon, aus welchem Winkel die Kamera auf ihn blickt oder welche Be-



Keine moderne Kunst, sondern ein neues Messverfahren: Über projizierte Farbstreifen lassen sich die »Höhenlinien« eines Gesichts – und damit seine dreidimensionale Form – in Bruchteilen einer Sekunde exakt bestimmen.

leuchtung gerade herrscht. Auch ein Foto würde sofort als zweidimensional erkannt. »Eine nahe liegende Methode für eine 3-D-Gesichtserfassung wäre eine Stereokamera«, sagt Rummel, »aber die nötigen Rechenalgorithmen sind viel zu aufwendig.«

Ein Computer muss nämlich in den beiden Aufnahmen der Kamera korrespondierende Punkte bestimmen, um aus deren horizontalem Versatz die räumliche Entfernung zu errechnen – nicht anders funktioniert das dreidimensionale Sehen beim Menschen. Hervorstechende Elemente des Gesichts wie Augen, Nase und Mund sind mit automatischen Verfahren gut auszumachen. Doch bei Oberflächen ohne eine erkennbare Struktur wie der Backen- oder Stirnhaut ist es extrem schwierig, Punkte der beiden Aufnahmen einander zuzuordnen.

Die Siemens-Forscher Peter Rummel und Frank Forster griffen daher einen in anderen Anwendungen bewährten Ansatz zur 3-D-Vermessung auf: Sie projizieren ein farbiges Lichtmuster auf das Gesicht und erzeugen so eine künstliche Textur. Stirn, Backenknochen, Nase oder Kinn verformen die Farbstreifen, die somit den Höhenlinien einer Landkarte vergleichbar werden. Zu ihrer Aufnahme reicht eine einzige Videokamera. Die Berechnung der dreidimensionalen Oberfläche erfolgt dann nach geometrischen Formeln, in die der Abstand zwischen Projektor und Kamera, die Beobachtungswinkel sowie die Position des jeweiligen Bildpunkts eingehen.

Das erste 3-D-Gesichtserkennungssystem nach dieser Methode testeten die Forscher zusammen mit Firmen aus Italien und Griechenland im Rahmen des europäischen Hiscore-Projekts (High Speed 3D and Colour Interface to the Real World). Es wurde im November 2002 auf einer Abschlussveranstaltung in Kopenhagen demonstriert. »Bei diesem System projizierten wir die Streifen noch vertikal, was den Nachteil hatte, dass wir relativ viele Abschattungseffekte durch Nase oder Kinn bekamen«, berichten die 3-D-Experten.

Inzwischen konzentrieren sie sich auf eine horizontale Streifenprojektion – Projektor und Kamera sind etwas höher ▷

SIEMENS AG

Aus einem einzigen Videobild generiert das vorgestellte 3-D-Messverfahren einen Datensatz, aus dem sich unterschiedliche Ansichten der aufgenommenen Person erzeugen lassen. Das erleichtert den Einsatz unter wechselnden Umgebungsbedingungen und ermöglicht weitere Anwendungen.

▷ beziehungsweise tiefer als der Kopf platziert. Zum einen bekommen sie dadurch weniger Gebiete mit Schatten und zum anderen entsprechen die horizontalen Linien auch der natürlichen Links-rechts-Symmetrie von Gesichtern besser.

Sprungstelle Nasenspitze

Die Forscher projizieren rund 200 Farbstreifen der drei Grundfarben und ihrer additiven Mischung (also Rot, Grün, Blau sowie Cyan, Magenta, Gelb, Weiß und Schwarz) gleichzeitig auf ein Gesicht. Damit die Zuordnung der Farbstreifen eindeutig ist, sind sie nach einer vorher genau festgelegten Regel hintereinander angeordnet. Damit lassen sich Probleme an »Sprungstellen« wie der Nasenspitze vermeiden. Ein weiterer Vorteil ist, dass Farbverfälschungen durch die Eigenfarben des Gesichts herausgerechnet werden können.

Das kostengünstige Verfahren arbeitet praktisch in Echtzeit – und das mit einer Genauigkeit von 0,3 Millimeter pro Messpunkt. Dass es sehr gute Ergebnisse liefert, konnte Wolfgang Küpper, Leiter des firmeneigenen Kompetenzfeldes Biometrie in München, nachweisen. Dort arbeiten Experten in der Evaluierung der verschiedensten Biometrieverfahren. Mithilfe von etwa 7000 aufgenommenen Bildern konnte das Team zeigen, dass eine Kombination der 3-D-Gesichtsanalyse mit konventionellen 2-D-Methoden deutlich besser funktioniert als jede der Methoden für sich. Gemessen wurde dabei die »Equal Error Rate« – die Fehlerrate, die entsteht, wenn die Zahl der fälschlich zurückgewiesenen Personen ebenso hoch ist wie die der fälschlich akzeptierten.

3-D- und 2-D-Gesichtserkennungsverfahren ergänzen sich gut: Das 2-D-Verfahren erkennt, was wir auch an Fotos als typische Merkmale sehen – beispielsweise ein Muttermal auf der Wange. Das 3-D-Verfahren würde zwar ein Muttermal nicht erkennen, aber es liefert mit seinen Höhenlinien komplementäre Eigenschaften, die unabhängig sind von Kopfhaltung oder Beleuchtung: etwa die exakte Oberflächenkrümmung des Gesichts an Stellen wie der Stirn, der Backenknochen, des Kinns oder der Nase.

Kombination mit 2-D

»Als Märkte der Zukunft sehe ich automatische Grenzkontrollen ebenso wie die Abfertigung an Flughäfen, beispielsweise als besonderen Service für Vielflieger«, erklärt Peter Rummel. Letztere müssten sich dann nur einmal registrieren lassen und könnten einfach mit einem schnellen Blick in die Kamera einchecken, eine Anwendung, die bereits mit der Irisidentifikation erfolgreich am Flughafen Schiphol eingesetzt wird (Spektrum der Wissenschaft 7/2003, S. 81). Auch bei Sicherheitsanwendungen am Computer ließe sich das System einsetzen, ebenso bei Bankgeschäften. Allerdings dürften die Märkte zunächst außerhalb von Europa liegen – die in der EU erforderliche Standardisierung solcher Systeme kostet erhebliche Zeit.

Die Kombination mit anderen Verfahren steigert die Sicherheit weiter. Bereits heute bietet Siemens multiple Biometrieverfahren an, etwa einen Ausweis für das indische Verteidigungsministerium, der eine Gesichts- mit einer Stimm- und einer Fingerabdruckerkennung kombiniert. »Genauso gut könnte man die 3-D-Gesichtserkennung auch mit einer ebenfalls räumlichen Erfassung der Handgeometrie kombinieren, wobei beide Bilder mit derselben Kamera aufgenommen würden«, ergänzt Forster. Eine solche Erkennung der Handgeometrie wurde ebenfalls im Hiscore-Projekt untersucht. Mit ihrer Hilfe sollen sich Computer per Gesten steuern lassen, etwa um virtuelle Moleküle ohne Datenhandschuh auf einem Bildschirm zu drehen. ◁

Ulrich Eberl ist promovierter Physiker und Wissenschaftsjournalist in München. Bei Siemens leitet er die Technikkommunikation.

STIMMERKENNUNG

»Captain an Computerlogbuch«

Das gesprochene Wort enthält eindeutige biometrische Merkmale. Doch genügt nicht schon ein Tonbandgerät, um die Stimmerkennung zu überlisten?

Von Deniz Schobert und Jörg Tacke

So wie der Kommandant des Raumschiffs Enterprise würden sich wohl viele gern an ihren Computer oder andere technische Gerätschaften wenden können. Vom Verstehen des Gesprochenen einmal abgesehen setzt ein solcher Dialog voraus, dass die sprechende Person von dem System erkannt und somit als Dialogpartner akzeptiert wird. Diesen Teil haben Wissenschaftler und Ingenieure mittlerweile für irdische Anwendungen realisiert.

So ist es bereits in einigen Unternehmen gängige Praxis, die Verwaltung ihrer Rechnernetzwerke durch eine Stimmerkennung zu unterstützen: Hat ein berechtigter Nutzer sein Passwort vergessen, ruft er eine bestimmte Nummer an. Er wird mit einem Computer verbunden, der ihn zum Nachsprechen von Begriffen oder Sätzen auffordert. Anhand der gespeicherten Templates – beim erstmaligen Anmelden an das System aufgenommenen Datensätzen – kann der Rechner die Person verifizieren und ihr ein neues Passwort mitteilen.

Risiko Replay-Attacke

Sprachorgane sind so komplex aufgebaut, dass sich ihre Anatomie von Person zu Person unterscheidet. Den als Stimme bezeichneten Klang erzeugen die vibrierenden Stimmlippen im Kehlkopf. Er besteht aus einem Spektrum von Frequenzen, das sich je nach gesprochenem Laut verändert. Dieses Signal wird durch Resonanzen, den so genannten Formanten, in Mundhöhle, Kehle und Nase charakteristisch verändert. Auch die Anordnung, Form und Maße von Zunge, Kiefer, Lippen und Gaumen beeinflussen als Filter und Artikulatoren das Frequenzspektrum.

Verhältnismäßig einfach erscheint da der Sensor zur Stimmerkennung: Ein Mikrofon wandelt das akustische in ein elektrisches Signal um, eine nachgeschaltete Einheit macht daraus Bits und Bytes für die Verarbeitung im Computer. Die auf dem Rechner laufende Software schneidet Pausen aus der gesprochenen Sequenz und teilt das verbleibende Signal in Abschnitte von dreißig Millisekunden Dauer. Dann wird die Stimmbandfrequenz durch eine Filterung von den Vokaltraktresonanzen, sprich den Formanten getrennt. Mit verschiedenen mathematischen Verfahren wie dem Hidden Markov Model und dem Neural Tree Network kann das Programm Parameter für ein Modell der Stimme errechnen.

Wie alle biometrischen Systeme arbeitet auch die Stimmerkennung dann besser, wenn das so genannte Enrolment, die Erstregistrierung, sorgfältig durchgeführt worden ist. Ungünstige Umgebungsbedingungen – in diesem Fall dominante Hintergrundgeräusche, undeutliche Aussprache, schallreflektierende Oberflächen oder minderwertige Sensoren – verschlechtern das Ergebnis, sofern das System dies nicht bemerkt und verhindert. Erfolgt der Dialog mit dem System über eine Telefonleitung oder per Handy, beeinflusst auch die Qualität der Verbindung den Vorgang, da das übertragene Frequenzspektrum von dessen Bandbreite abhängt.

Wie alle Sicherheitssysteme ist auch dieses zu täuschen, wenn kein Schutz vorgesehen ist: Ein Angreifer könnte die Stimme einer berechtigten Person mitschneiden und dem System vorspielen. Eine solche Replay-Attacke sorgt in Spionagefilmen für Hochspannung, doch der Aufwand ist sehr hoch: Der Angreifer muss zum einen in den Besitz der Aufnahmen gelangen, zum anderen direkten Zugang zum Mikrofon erhalten (wie anspruchsvoll das sein kann, illustriert der Film »Die Lautlosen« mit Robert Redford von 1992).

Wer ein solches Unterfangen aber für machbar hält, kann sein System durch den »Lebend-Test« absichern: Dem Sprecher werden willkürlich verschiedene Wörter vorgegeben, die er beim Enrolment hinterlegt hat. Diese muss er unverzüglich nachsprechen. Es ist unwahrscheinlich, dass der Angreifer das Verlangte gerade auf Band parat hat – es sei denn, er hat sich in den Besitz des Templates, also des mathematischen Modells, für eben diese Worte gebracht. Dies könnte er jedoch nur nutzen, wenn er Zugang zur Sprecherverifizierungssoftware und deren Datenbank hat. Ein System zur Stimmresynthese anhand einer Spektralanalyse, wie es die Helden der »Mission Impossible«-Thriller einsetzen, ist reine Fiktion.

CINETEXT

Die Redewendung im Titel dieses Beitrags ist den Fans der Science-Fiction-Serie »Star Trek« wohl bekannt: Der Computer des Raumschiffs Enterprise erkannte die Stimme seines Herrn, des Captain Kirk. Was in solchen Zukunftsfantasien Alltag ist, steht in der Gegenwart noch am Anfang der Entwicklung.

Sprachformel oder freie Rede?

Die Systeme der Stimmerkennung arbeiten im einfachsten Fall mit der textabhängigen Sprecherverifikation, bei der immer gleiche Worte oder Sätze zu Grunde gelegt werden. Ein Benutzer spricht beim Enrolment diese Wörter mehrfach, der Computer ermittelt daraus die oben beschriebenen Merkmale und hinterlegt die Informationen in ei- ▷

ner Datenbank. Um sich zu identifizieren, wird eine Person dann aufgefordert, eben diese zuvor festgelegten Ausdrücke zu sprechen.

Die zweite Variante, die textunabhängige Sprecherverifizierung, erlaubt es, das gesamte Vokabular zu nutzen. Hierzu muss der Sprecher aber das System mit viel Sprache trainieren, was entsprechend zeitintensiv ist. Die Analyse des Frequenzspektrums ist zwar nicht aufwendiger, jedoch ungenauer. Denn das gespeicherte Referenzmuster, also die mathematische Beschreibung seiner spezifischen Parameter, bezieht sich nicht auf ein Wort, sondern allgemein auf seine Sprache. Beide Varianten verwenden die gleiche Technologie: Studien in europäischen Verbundprojekten zeigten, dass die aus Fehlerraten für falsch-positive Identifikation und falsch-negative Ablehnung berechnete »gewichtete Fehlerquote« zehnmal so groß ist wie beim Abfragen immer gleicher Ausdrücke.

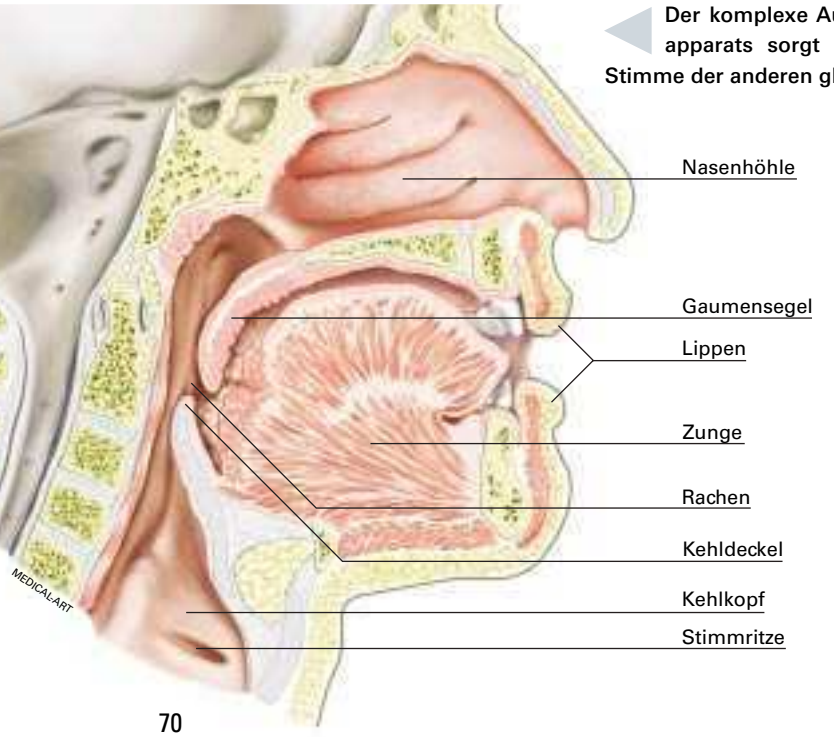
Deshalb tendiert die Branche derzeit dazu, eher mit festgelegten Sprachformeln zu arbeiten, dafür aber mehrere abzufragen. Das vermindert das Risiko eines erfolgreichen Angriffs und senkt die Fehlerquote auf nahezu null, wie der TÜV IT Essen im Oktober 2002 bestätigt hat: Mithilfe des Lehrstuhls für Wirtschaftsinformatik III der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg wurde ein Test durchgeführt, bei dem 130 000 normale Zugriffe und 120 000 Angriffe auf den Sprach-Server erfolgten. Bei den empirisch ermittelten Fehlerraten gab es eine Systemkonfiguration, bei denen die Falschakzeptanz wie auch die Falschzurückweisung gleich null war.

»Logbuch an Captain«

Mittlerweile ist die technische Entwicklung so weit gediehen, dass Stimmerkennungssysteme in Kombination mit Spracherkennung für den Privatgebrauch realistisch sind. Das Computerlogbuch kann die Äußerungen des Captain Kirk dann verstehen und antworten.

Gegenwärtig geplante Anwendungen sind freilich bescheidener. Sie reichen von der reinen Komfortsteigerung – ein Autofahrer setzt sich in das Dienstfahrzeug, identifiziert sich und automatisch werden die von ihm bevorzugten Einstellungen für Sitz, Spiegel und Radiosender vorgenommen – bis hin zu sicherheitsrelevanten Anwendungen wie dem Zahlungsverkehr im Internet: Bei einer Bestellung wird die Telefonnummer angegeben, das System ruft zurück, identifiziert den zuvor registrierten Käufer und stellt eine Rechnung aus, ohne dass sensible Daten zur Bankverbindung über die Datenleitung übertragen werden.

Dem Benutzer kommt es sicher entgegen, dass er sich natürlich verhalten kann – im Unterschied etwa zur Identifizierung anhand von Fingerabdrücken. Die erforderlichen Verfahren stehen im Grunde bereits zur Verfügung, es mangelt nur noch an Standards, um die Systeme besser in ihre technische Umgebung beim Kunden zu integrieren. Die Zahl der denkbaren Anwendungen ist so groß, dass die Hersteller mittelfristig mit einem Markt von 300 Millionen Euro pro Jahr rechnen.



Der komplexe Aufbau des Sprechapparats sorgt dafür, dass keine Stimme der anderen gleicht.

Deniz Schobert ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik III der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg. Sie arbeitet an einer Delphi-Studie zur Biometrie. **Jörg Tacke** ist Mitbegründer der VOICE TRUST AG und freier Berater im Bereich Biometrik.

Wer unterschreibt, der lebt

Eine persönliche Handschrift lässt sich fälschen, jedoch niemals der Vorgang des Unterschreibens. Allein der Druck des Stifts auf das Papier zeigt individuelle Verlaufsmuster.

Von René Baltus

Ein Handschlag zum Abschluss einer Geschäftsverhandlung mag im Bekanntenkreis noch angehen, doch schon das römische Zivilrecht forderte 533 n. Chr. die persönliche Unterschrift unter einem Vertrag als Nachweis der Einigung. Dass dieses Vorgehen schon im biblischen Palästina üblich war, bezeugt der Prophet Jeremias etwa 626 v. Chr. (Jeremias 32, Vers 12): »Und ich gab den Kaufbrief Baruch, dem Sohn Nerijas, des Sohnes Machsejas, vor den Augen meines Vetters Hanamel und vor den Augen der Zeugen, die den Kaufbrief unterschrieben hatten, vor den Augen aller Judäer, die im Wachhof saßen.« Auch geschickte Fälscher können daran nichts ändern: Die handschriftliche Signatur, mit Tinte und auf Papier geleistet, gilt immer noch als sicherstes Verfahren.

Zu Recht, denn schon mit bloßem Auge unterscheiden sich die Handschriften zweier Menschen durch den Raum, den eine Signatur einnimmt, der zwischen ihren Buchstaben verbleibt oder innerhalb eines Buchstabens eingeschlossen ist. Weitere sichtbare Merkmale lassen sich aus Form und Schriftführung ableiten. Den Grund für die Unterschiede liefert die Physiologie. Denn Schreiben erfordert die Zusammenarbeit zahlreicher Muskeln ab der Rumpfmitte aufwärts unter der Kontrolle des Gehirns wie auch der unwillkürlichen Motorik. Dieser Prozess läuft bei zwei Menschen niemals identisch ab, sodass ein Sachverständiger schnell erkennen kann, ob eine Signatur authentisch ist.

Auch Computer mit entsprechender Software bringen dieses Kunststück zu Wege. Eine Unterschrift wird gescannt und mit einem hinterlegten Original (Template) verglichen. Die Software »legt« die Unterschriften übereinander, vermisst Linien und Steilheiten, vergleicht Buchstaben und Strichbeschaffenheit. Diese Verfahren sind bei Banken längst Stand der Technik, um Schecks und Überweisungen auf Authentizität zu prüfen.

Die Maschinen nutzen aber mitunter auch eine Information, die das Auge nicht wahrnehmen kann: den Druck, mit dem ein Stift während des Signierens ▷

Merkmal: Tippverhalten

Zeig mir, wie du tippst, und ich sag dir, wer du bist

Es mag überraschen, doch die Art und Weise, wie wir Texte per Tastatur eintippen, ist ebenso individuell und fälschungssicher wie eine Unterschrift. Das Tippverhalten lässt sich nicht nachahmen und nicht weitergeben. Das »Psylock« genannte Verfahren, das unser Lehrstuhl gemeinsam mit der Technischen Universität München entwickelt hat, erfasst die verschiedenen Parameter, um die Identität von Computernutzern zu prüfen.

Psylock ist eine reine Software-Lösung, es wird keine spezielle Hardware benötigt. Bevor das System eingesetzt werden kann, muss es sich erst an den Nutzer gewöhnen. Dazu tippt dieser einen vorgegebenen Satz 35-mal ein, wobei Psylock Merkmale wie Schreibgeschwindigkeit, Rhythmus und Geschicklichkeit der einzelnen Finger misst. Dieser Satz muss später zur Authentifizierung des Benutzers wieder eingetippt werden.

Je nach Verfassung des Schreibenden können diese Werte allerdings sehr stark variieren. Deshalb werden sehr stabile Merkmale wie Links- oder Rechtshändigkeit und fingerabhängige »Verhaspelungen« ebenfalls erfasst.

Insgesamt ergeben sich so etwa zwanzig Merkmale, die ein neuronales Netz auswertet. Dadurch wird eine Trennschärfe von annähernd hundert Prozent erreicht. Ein Feldtest an der Universität Regensburg hat gezeigt, dass es möglich ist, gleichzeitig sowohl die Falschrückweisungsrate wie auch die Falschakzeptanzrate auf unter fünf Promille zu senken. Dieses ungewöhnliche Ergebnis setzt voraus, dass man mehrere Login-Versuche zulässt. Denn auch wenn sie unmittelbar nacheinander stattfinden, tippt der Anwender den Text nie zweimal auf genau die gleiche Weise ein. Psylock bekommt so mehr Informationen über das Tippverhalten, das Verfahren wird trennschärfer. Die Falschakzeptanzrate steigt zwar leicht, wenn mehrere Login-Versuche zugelassen werden, wird aber im Bereich von 0,5 Prozent bleiben.

UNIVERSITÄT REGENSBURG

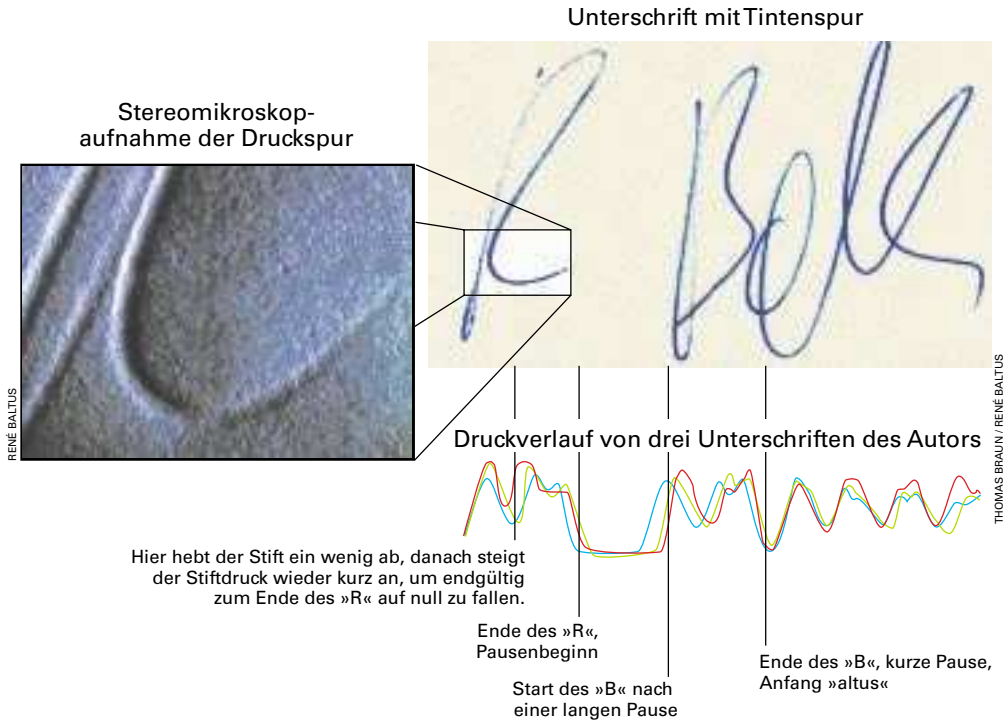
Das Programm »Psylock« erkennt den Benutzer über die Tastatur.

Zudem lässt sich die Sicherheit erhöhen, indem zur Authentifizierung ein längerer Text eingegeben wird. Der Beispielsatz »Hallo Psylock, wie lautet der Witz des Tages?« mit etwa fünfzig Anschlägen genügt für ein mittleres Niveau. Im Lauf der Zeit verändert ein Nutzer sein Tippverhalten. Psylock registriert das und passt seine Referenzmuster entsprechend an.

Der erste harte Praxistest von Psylock steht unmittelbar bevor: Die Software wird demnächst von einem großen deutschen Geldinstitut für den Windows-Login-Prozess in sicherheitskritischen Bereichen getestet.

Dieter Bartmann

Der Autor lehrt Bankinformatik an der Universität Regensburg.



▷ geführt wird. Wie stark ihn die Hand auf die Unterlage presst, wie lange die Unterschrift dauert, ob es Pausen gibt oder Stellen, an denen der Stift leicht angehoben wird, um dann neu anzusetzen – all das hat System. Vor allem: Es ist kaum möglich, diese Merkmale zu imitieren, nicht einmal maschinell.

Kombination mit der Tippdynamik

Gängige Systeme zur rechnergestützten Unterschriftenanalyse verwenden drucksensitive Spezialstifte oder eine druckempfindliche Schreibfläche. Deren sandwichförmiger Aufbau besteht meist aus zwei elektrisch leitenden Platten mit einem Luftspalt dazwischen. Der auf die Schreibfläche ausgeübte Druck verbindet die zwei Platten lokal; dies ist messbar und zeigt damit in etwa den Schreibdruck und die Position des Stiftes an. Eine Alternative lagert die Schreibplatte an ihren Enden auf Drucksensoren, wie sie in herkömmlichen elektrischen Waagen üblich sind. Aus den Verkippungen der Platte beziehungsweise den Belastungen der Eckpunkte lassen sich der momentane Ort des Stiftes und der lokale Druck berechnen.

Das Verfahren ist so feinfühlig, dass man auf eine solche Platte eine »Tastatur« aufdrucken kann: Der Sensor bestimmt, in welchem Bereich ein Finger auftrifft beziehungsweise welche »Taste« er getroffen hat. Auf diese Weise ließe sich die Erkennung der Handschrift noch mit dem Eintippen eines Kennworts sowie der Analyse der ebenfalls personenspezifischen Tippdynamik kombinieren (siehe Kasten vorige Seite). Ein solches multimodales Verfahren verbessert die Trennschärfe, verringert also die möglichen Fehleinschätzungen. Andererseits ließen sich die verschiedenen Erkennungsmerkmale natürlich auch alternativ nutzen: Wer in einer Bank kein Template zur Unterschrift hinterlegt hat, kann immer noch mit seiner herkömmlichen PIN Geld abheben.

Schließlich könnte die elektronisch erfasste handschriftliche Signatur oder die tippdynamisch erfasste PIN auch mit den Verfahren der digitalen Signatur gekoppelt werden. Dazu würde beispielsweise von einem Template und dem Inhalt des elektronischen Dokuments die Quersumme gebildet, den Daten ein Zeitstempel hinzugefügt, das Ganze verschlüsselt und an das Ausgangsdokument angehängt. Dies entspräche dem Gesetz und der Verordnung zur digitalen Signatur, die zur Identifizierung des Signaturschlüsselinhabers »Besitz (Smartcard), Wissen (PIN) und ein oder mehrere biometrische Merkmale« verlangt.

Dass die Erkennungssoftware altersbedingte Veränderungen der Handschrift berücksichtigen kann, ist ein großer Vorteil. Dazu ersetzt sie nach der Erkennung einen kleinen Teil des Templates durch den entsprechenden Anteil des gerade Wiedererkannten. Auf diese Weise passt sie sich der sich verändernden Eingabedynamik an.

Mittlerweile hat die Western Bank in den USA ihre »Homebanker« mit Schrifterfassungsgeräten ausgestattet. In Deutschland nutzen die Software-Gesellschaft der bayerischen Sparkassen und die Stadt- und Kreissparkasse Erlangen, die Kreissparkasse Groß-Gerau und die Volksbank Gießen bereits Verfahren zur elektronischen Erfassung der eigenhändigen Signatur. Von der verbesserten Sicherheit abgesehen erwarten sich die Anwender vor allem eines: das teure Papierarchiv durch eine kostengünstigere Datenbank zu ersetzen und die Unterschriften der Kunden in digital unterstützte Arbeitsabläufe einzubinden. ◁

René Baltus ist Betriebswirt des Handwerks und hat das Handschriften-Erkennungssystem für Normalstifte HESY entwickelt.

FLUIDICON

Flinke Flüssigkeiten

Substanzen, die unter elektrischer Spannung ihre Konsistenz ändern, kommen endlich auf den Markt.

Von Tim Schröder

Wer schon einmal selbst Wassereis gemacht hat, weiß, wie lange es dauert, bis die kühle Süßigkeit erstarrt ist. »Smart fluids« hingegen wechseln unter dem Einfluss von elektrischen Feldern in Sekundenbruchteilen zwischen fest und flüssig. Diesem so genannten elektrorheologischen Effekt (Rheologie: die Lehre vom Fließen) wird seit Jahrzehnten ein Boom vorausgesagt, denn er könnte hydraulische oder pneumatische Verfahren verdrängen. Bislang kamen diese Flüssigkeiten jedoch kaum über das Laborstadium hinaus (siehe Kasten).

Das soll sich nun ändern. Das vor zwei Jahren als Start-up aus der Darmstädter Schenk-Pegasus GmbH hervorgegangene Unternehmen Fluidicon hat eine Flüssigkeit entwickelt, die innerhalb einer Sekunde bis zu 1500-mal zwischen fest und flüssig wechselt – ein Rekord.

Dazu wird die Substanz durch einen Spalt zwischen zwei flachen Elektroden geleitet. Legt man eine Spannung an, werden winzige Polyurethanpartikel in der Flüssigkeit polarisiert. Sie verbinden sich zu langen Ketten, denn die Partikel tragen positive und negative Ladungen. Im Feld ordnen sie sich zwischen den Platten zu winzigen Säulen an, die Drücke elastisch abfedern oder Scherkräfte dämpfen, wenn sich die Platten gegeneinander verschieben. Selbst die Bewegung von Kolben lässt sich damit abbremsen.

Vom Fitnessgerät zur optimalen Bodenhaftung

Mit wachsender Spannung verwandelt sich die Flüssigkeit in eine Art Gel und wird schließlich völlig hart. Interessant ist das vor allem für hydraulische Anlagen, erklärt Oliver Köster, kaufmännischer Geschäftsführer bei Fluidicon. Bisher sind mechanische Ventile nötig, die den Fluss des Hydrauliköls verengen, um so Druck aufzubauen. Das hat Nachteile. Zum einen können sich selbst moderne Hochgeschwindigkeitsventile nur rund 400- bis 500-mal pro Sekunde schließen. Zum anderen verschleißt die Mechanik. Beim elektrorheologischen Verfahren hingegen dient die Flüssigkeit selbst als Ventil. Unter Spannung verstopft sie die Leitung wie ein Pfropf. Da auf Ventile und aufwendige Mechanik verzichtet wird, kann das rheologische System zudem kleiner dimensioniert werden.

Seit Mai ist ein erstes Produkt auf dem Markt. In Kooperation mit einem Fitnessgeräte-Hersteller hat Fluidicon laut Köster »effektivere und gesündere« Kraftmaschinen entwickelt. Bei den meisten Fitnessgeräten wirkt die Last nur in eine Richtung – der Sportler zieht an einem Gewicht oder stemmt sich dagegen. Bei der rheologischen Kraftmaschine kann sowohl bei der Auf- als auch bei der Abbewegung ein Widerstand aufgebaut werden. Eine Software passt die Flüssigkeit blitzschnell der Bewegungsrichtung an. Der Vorteil: »Ein Muskel hat ja auch immer einen Gegenspieler – der eine beugt, der andere streckt. An einem solchen Gerät lassen sie sich beide trainieren.«

Gerade für wenig geübte Sportler ist es sehr wichtig, dass ihre Gelenke beim Training geschont werden, da die stützende Muskulatur noch nicht ausreichend entwickelt ist. Bei herkömmlichen Trainingsgeräten müssen Muskeln und Gelenke aber in der Endposition einer Bewegung das volle Gewicht halten. Die neuen

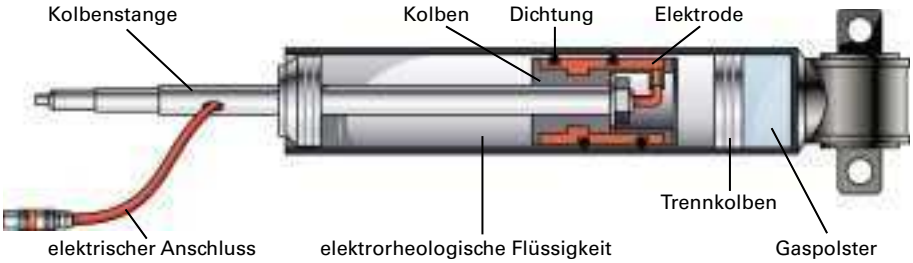
Elektrorheologie

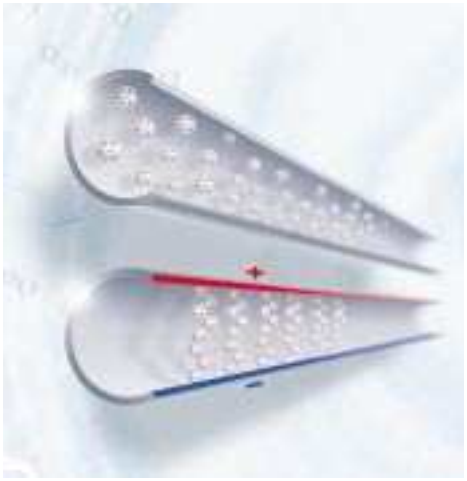
Der lange Weg zum ersten Produkt

Bereits 1939 entdeckte der amerikanische Ingenieur Willis Winslow (1904–2000) den elektrorheologischen Effekt bei privaten Forschungen und beschrieb wenig später erste mögliche Anwendungen. Winslow stellte damals fest, dass sich die Viskosität einer Lösung aus Stärkemehl in Mineralöl unter dem Einfluss eines elektrischen Feldes ändert. Zwar war die Fachwelt begeistert und Chemie-Konzerne investierten in die Entwicklung, doch Produkte blieben aus. So wurde zunächst mit anorganischen Zeolith-Partikeln experimentiert, die aber zu starker Reibung und Korrosion an Leitungen und Dichtungen führten. Zudem setzten sie sich leicht ab und bildeten einen festen Bodenbelag, der rheologische Effekt war dahin. Als weit weniger abrasiv erwiesen sich verhältnismäßig weiche Polymerpartikel etwa aus Polyurethan. Dennoch scheuten Maschinenbaubetriebe die ungewohnten und noch nicht ganz ausgereiften Substanzen. Inzwischen haben Wissenschaftler die Flüssigkeiten weiterentwickelt. Zu den wichtigsten Experten in Europa zählen die Forscher vom Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC, mit denen Fluidicon in Kontakt steht. In den vergangenen Jahren ist es ihnen gelungen, die elektrorheologischen Flüssigkeiten so weit zu optimieren, dass sie in ersten Geräten eingesetzt werden können. Nach wie vor bedarf es einiger Mühe, das Zusammenballen und Absinken der Partikel zu verhindern. Zum anderen arbeiten die Wissenschaftler derzeit daran, Substanzen zu entwickeln, die über einen weiten Temperaturbereich stabil bleiben und gleichmäßig arbeiten.

PROLINE

Neu auf dem Markt: Fitnessgerät mit elektrorheologisch regelbarem Widerstand





BEIDE ABBILDUNGEN: FLUIDICON

Elektrorheologische Flüssigkeiten sollen die Bewegung von Kolben stufenlos und in Sekundenbruchteilen regelbar machen. Weil sich die in der Flüssigkeit suspendierten dipolar geladenen Partikel bei Anlegen eines elektrischen Feldes zu Ketten oder Säulen anordnen (links), verändern diese Medien ihre Viskosität und schränken somit die Kolbenbewegung mehr oder weniger ein.

Maschinen reduzieren den Widerstand an den Umkehrpunkten auf null. Vom Fitnessbereich abgesehen bietet das System auch der Krankengymnastik am Gerät in Reha-Einrichtungen Möglichkeiten.

Für gewöhnlich trainieren Sportler »isotonisch«, das heißt, Gewicht und Kraft bleiben während der Bewegung von Bein oder Arm gleich, unabhängig davon, wie schnell die Masse bewegt wird. Eine rheologische Flüssigkeit hingegen ermöglicht auch, »isokinetisch« zu trainieren: Bei gleich bleibender Geschwindigkeit von Arm oder Bein nimmt der Widerstand der Flüssigkeit zu. Der Patient muss mehr und mehr Kraft aufwenden, um das Gewicht zu heben. Physiotherapeuten könnten daraus ein Leistungsprofil des Muskels ableiten und ermitteln, in welchem Bereich er nicht mit voller Kraft arbeitet, weil beispielsweise ein Muskelfaserriss nicht völlig abgeheilt ist.

Derzeit testet Köster mit einem Zulieferer der Automobilindustrie einen Stoßdämpfer-Prototypen. Der soll den Reifen stets optimal auf den Asphalt drücken, die Bodenhaftung erhöhen und damit gegebenenfalls den Bremsweg verkürzen. Bei einer Bodenwelle muss er weich einfedern, sich auf dem höchsten Punkt verhärten und hinter der Unebenheit den Reifen wieder zügig nach unten pressen. Ein derartiger Stoßdämpfer existiert bislang nicht. Versuche bestätigten, dass elektrorheologische Systeme schnell genug agieren, um den Stoßdämpfer in Sekundenbruchteilen sogar an kleine Unebenheiten anzupassen. Bis zur Serienreife werden allerdings voraussichtlich noch einige Jahre vergehen.

In einem anderen Projekt kooperiert die Darmstädter Firma mit einem Prothesenhersteller. Das Ziel ist die Entwicklung eines künstlichen Kniegelenks. Bislang haben Menschen mit Unterschenkelprothesen damit zu kämpfen, dass sowohl Schrittlänge als auch -geschwindigkeit stets gleich sind, egal ob sie eilen oder gemütlich schlendern wollen. Fachleute sprechen von getaktetem Gang. Das soll sich ändern. Dazu tüfteln die Entwickler an einem Dämpfungselement, das die Unterschenkelbewegung der Situation anpasst. Die Idee: Soll die Prothese beim eiligen Laufen schnell nach vorne schwingen, verflüssigt sich die Substanz im Regelventil, beim Stopp verhärtet sie sich und ermöglicht einen festen Stand. ◁

Tim Schröder hat Biologie und Physik studiert und war Redakteur im Wissenschaftsressort der Berliner Zeitung. Er lebt als freier Autor in Oldenburg.

WICHTIGE ONLINE-ADRESSEN

Aetherforschung
Neue Impulse für die Naturwissenschaften und die Mathematik
www.aether-research.de

Dipl.-Ing. Runald Meyer VDI
Entwicklung, Konstruktion, Technische Berechnung Strömungsmechanik
www.etastern.de

DOK – Düsseldorfer Optik-Kontor
Kontaktlinsen online bestellen
www.dok.de

Elektropolieren mit Pfiff
Glanz ohne Chrom
Titan, Stahl und mehr
MIR-Chem GmbH
www.mir-chem.de

Eveni – the conference management solution
Wissenschaftliche Konferenzen effizient organisieren mit Internet-basierten Werkzeugen
http://eveni.com

Forschungszentrum Jülich
Brennstoffzellen, Technologie, Jobs, Dissertationen, Diplomarbeiten
www.fuelcells.de/jobs

Forum MedizinTechnik und Pharma in Bayern e.V.
Innovationen für die Medizin
www.forum-medtech-pharma.de

Kernmechanik – die neue Quantenphysik von Kernspin bis Kosmologie
www.kernmechanik.de

Projektmanagement-Training
Dr. Voight, Lehmann & Partners, PMPs machen Ihr Team fit für Microsoft Project, PMI-Methoden, Zertifizierung und mehr
www.vl-p.net

Schäume messen
Keramik-Kunststoff-Metall
Optische Bildanalyse
MIR-Chem GmbH
www.mir-chem.de

Hier können Sie den Leserinnen und Lesern von Spektrum der Wissenschaft Ihre WWW-Adresse mitteilen. Für € 80,00 pro Monat (zzgl. MwSt.) erhalten Sie einen maximal fünfzeiligen Eintrag, der zusätzlich auf der Internetseite von Spektrum der Wissenschaft erscheint. Mehr Informationen dazu von

GWP media-marketing
Mareike Grigo
Telefon (02 11) 887-23 94
E-Mail: m.grigo@vhb.de

AZTEKEN

Götterwahn und Menschenopfer

Prächtige Tempelbauten, wüste Opferrituale – der Alltag der Azteken wurde durch ihre Religion bestimmt. Die jüngsten spektakulären Funde, zurzeit in Deutschland ausgestellt, liefern neue Einsichten in eine vergangene fremdartige Kultur.

Von Matthias Mochner

Eine kleine sumpfige Insel im salzigen Tetzcocosee, die kein anderes Volk im zentralamerikanischen Hochland beanspruchte, wurde Ausgangspunkt ihrer Macht: Von hier aus entwickelten sich die Azteken, die zuvor umherstreiften und gelegentlich Feldbau betrieben, zur jüngsten der indianischen Hochkulturen in Mesoamerika. Der Legende nach wurden sie von ihrem Stammesgott Huitzilopochtli angewiesen, auf der Insel zu siedeln. Jedenfalls gründeten sie hier Anfang des 14. Jahrhunderts ihre Hauptstadt Tenochtitlán, bauten im seichten Wasser des Sees Flöße aus Rohrgeflecht, schichteten Schlamm darauf und ernährten sich von den Erträgen dieser schwimmenden Gärten.

Das straff organisierte und durch strenge militärische Disziplin geprägte Reich der Azteken nahm zahlreiche Merkmale älterer mesoamerikanischer Völker auf. Die Götterwelt, das religiöse Ballspiel und der astronomische Kalender gehen bis auf die von ihnen sehr verehrte Kultur der Olmeken zurück, die ab 1600 v. Chr. für etwa 2000 Jahre die maßgebende Zivilisation Mittelamerikas darstellten.

Das Aztekenreich hingegen sollte nicht einmal 200 Jahre bestehen. Durch kriegerische Expansion sowie Unterdrückung und Ausbeutung besiegter Völker hatten die Azteken ihr Machtgebiet gerade bis an die Küsten des Pazifiks und des Golfs von Mexiko ausgedehnt, als sie mit einem neuen Gegner konfrontiert wurden, dem sie schließlich selbst unterlagen: Binnen zweier Jahre hatte der spanische Eroberer Hernán Cortés (1485–1547) mit seinen Soldaten und indianischen Hilfstruppen das Reich der Azteken erobert, den König Motecuzoma II. (1502–1520) getötet und die Stadt Tenochtitlán, die damals über 200 000 Einwohner aufwies, dem Erdboden gleichgemacht. In der Folgezeit legten die Spanier den See in dem abflusslosen Hochtal trocken und errichteten auf den Überresten der aztekischen Hauptstadt ihre eigene Siedlung. Dort, wo sich einst das Machtzentrum der Azteken befand, erstreckt sich nun die Metropole Mexico City, wie ihr Vorläufer eine der bevölkerungsreichsten Städte der Erde.

Die systematische Zerstörung der Aztekenkultur, die darauf folgende 300-jährige Herrschaft der Spanier, aber auch der Bau der Millionenstadt Mexico City waren geeignet, die merkwürdigste aller Hochkulturen Altamerikas der Vergessenheit anheim fallen zu lassen.

Durch Zufall entdeckt

Anders als im Falle der in Europa weitaus besser bekannten, tausend Kilometer weiter östlich im tropischen Urwald auf der Halbinsel Yucatán gelegenen Kultur der Maya, die wenige Jahrzehnte vor Ankunft der Spanier zerfiel, wurde das Zentrum des aztekischen Imperiums erst spät von der Forschung entdeckt. Nur zufällig stieß man im Jahre 1790 auf dem Haupt-

Erst spät besann sich Mexico City auf die aztekische Vorgängerstadt: Ausgrabungen inmitten der Metropole förderten die Reste eines Tempelareals zu Tage. Hier stand einst der »Templo Mayor«, eine 45 Meter hohe Stufenpyramide.

DPA

platz von Mexico City bei Bauarbeiten auf zwei aztekische Großskulpturen – unter ihnen ein für die Kosmologie der Azteken bedeutsames, mehrere Tonnen schweres Rundrelief mit einem Durchmesser von 3,60 Metern. Die monumentale Skulptur zeigt die fünf Weltalter der Azteken. Dieser »Sonnenstein«, den man auf Grund seines Alters zunächst in das Mauerwerk der ab 1573 errichteten katholischen Kathedrale eingemauert hatte, weckte – als »Kalenderstein« – auch das Interesse des Berliner Gelehrten Alexander von Humboldt (1769–1859), der im Rahmen seiner privat finanzierten, fünfjährigen Weltreise von 1803 bis 1804 in Mexico City weilte.

Vermittelt durch das Amerikabild von Humboldts und anderer Forscher, wuchs im 19. Jahrhundert in Europa das Interesse an den Azteken. Drei Jahre nachdem Mexiko 1821 von Spanien unabhängig geworden war, fand in London sogar die erste Ausstellung über die Azteken statt. Und 1866 wurde in Mexico City auf Initiative des habsburgischen Kaisers Maximilian das Historische und Archäologische Museum eröffnet. Eduard Georg Seler (1849–1922), der maßgeblich an der Entzifferung der Schrift der Azteken beteiligt war, begründete in den ersten Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts in Berlin dann die Mexikanistik als neues Forschungsgebiet.

Das »Venedig der westlichen Welt«

Doch wenngleich der spektakuläre Fund von 1790 den Beginn der mexikanischen Archäologie markierte, währte es fast noch einmal 200 Jahre, bis ein ähnlicher Zufall im Februar 1978 eine monumentale runde Steinplatte von drei Meter Durchmesser zu Tage brachte; dargestellt ist die Zerstückelung der Mondgöttin Coyolxauhqui – der Schwester und Gegenspielerin des aztekischen Hauptgottes Huitzilopochtli. Der Fund löste die größte Grabungskampagne im Zentrum von Mexico City aus: das »Templo-Mayor-Projekt«. Die Erforschung des bedeutendsten des vermutlich mehr als fünfzig Gebäude umfassenden Tempelbereichs in der Mitte von Tenochtitlán dauert aktuell noch an. Sogar ein aus denkmalpflegerischer Sicht erhaltenswertes Stadtviertel der Kolonialzeit östlich der Kathedrale wurde zu diesem Zweck abgetragen.

Unter der gigantischen Kirche selbst vermuten Wissenschaftler die Reste von mindestens elf aztekischen Tempeln, ▷

TRUSTEES OF THE BRITISH MUSEUM, LONDON

DUMBARTON OAKS RESEARCH LIBARY AND COLLECTIONS, WASHINGTON DC

MUSEO DEL TEMPLO MAYOR, MEXICO CITY, CONACULTA-INAH / MICHEL ZABÉ

BPK, BERLIN, ETHNOLOGISCHES MUSEUM BERLIN / MARTIN FRANKEN

Die Azteken kombinierten Kunstfertigkeit mit bizarrem Götterkult. Die Maske des Tezcatlipoca (oben) ist aus einem menschlichen Schädel hergestellt. Zum Pantheon gehörten auch die gebärende Göttin Tlazolteotl (Mitte links) und der Totengott Mictlantecuhtli (Mitte rechts), dessen Leber unterhalb der Rippenbögen heraushängt. Um die Götter gnädig zu stimmen, wurden ihnen Menschen geopfert, deren Blut in steinernen Schalen gesammelt wurde (unten).

MUSEO DEL TEMPLO MAYOR, MEXICO CITY, CONACULTA-INAH / MICHEL ZABÉ

Beeinflusst wurden die Azteken durch frühere mesoamerikanische Kulturen. Diese Maske stammt aus Teotihuacán, das rund vierzig Kilometer nordöstlich von Tenochtitlán liegt und seine Blütezeit vom 1. bis 6. Jahrhundert erlebte. Unten: Goldener Ohrring der Azteken.

nachdem man in den 1990er Jahren bei Bohrungen zur Stabilisierung des Gebäudes im Inneren auf zahlreiche Mauerreste gestoßen war. Insgesamt 78 Bauwerke soll es nach Aussage des Franziskanermönches Bernardino de Sahagún (1494–1590) einst im heiligen Bezirk von Tenochtitlán gegeben haben. Als das »Venedig der westlichen Welt« wurde die Hauptstadt des Aztekenreiches auf Grund der exponierten Lage im Tetzcocosee sowie ihres immensen Reichtums genannt. Die nach der Mitte des 16. Jahrhunderts von de Sahagún verfasste »Allgemeine Geschichte der Dinge in Neu-Spanien« dient den internationalen Forschern am Templo Mayor als Anhaltspunkt. Rund 43 Bauwerke konnten inzwischen – zum Teil nur zwei Meter unter dem heutigen Bodenniveau – archäologisch nachgewiesen werden.

BPK BERLIN, ETHNOLOGISCHES MUSEUM BERLIN / MARTIN FRANKEN

Am Templo Mayor, wo bei der Erforschung der Fundamente Sondierungen in bis zu 18 Meter Tiefe vorgenommen wurden, lassen sich heute sieben Bauphasen unterscheiden – von der Errichtung des Tempels im Jahre 1325 bis zu seiner Zerstörung durch die Spanier, die Teile des Gebäudes einfach sprengten. Zur Zeit von Phase VII (um 1502) maß die Grundfläche des dem Regen- und Wassergott Tlaloc sowie dem Sonnen- und Kriegsgott Huitzilopochtli geweihten pyramidenförmigen Doppeltempels 82 mal 82 Quadratmeter. Die oberste Terrasse des Templo Mayor in 45 Meter Höhe war Ort der rituellen Opferung von Menschen. Spuren dieser blutigen Handlungen, die in den Kodizes der Spanier und indigenen Bevölkerung vielfach Erwähnung fanden, konnten die Archäologen in den Trümmern des Bauwerks ebenfalls nachweisen.

Die Bedeutung des Templo-Mayor-Projekts ist in der Tatsache begründet, dass dieses einst farbig bemalte Gebäude im Zentrum von Tenochtitlán der Vorstellung der Azteken zufolge Mittelpunkt des Kosmos war. Von Tenochtitlán aus führten vier Dämme (Straßen) über den Tetzcocosee in die vier Weltgegenden des aztekischen Kosmos. Bezogen auf die drei Bereiche der Welt, welche die Kultur der Azteken kannte, war die Erde Schnittpunkt der 13 Himmelsebenen mit den neun Stufen der Unterwelt.

Im Lichte des Mythos des siegreichen Kampfes zwischen dem Sonnengott Huitzilopochtli und der mächtigen Mondgöttin Coyolxauhqui werden die Befunde von den Ausgrabungen am Templo Mayor verständlich. Der komplexe, 500 Meter lange heilige Platz in Tenochtitlán mit seinen vielen Architekturen kann, wie der langjährige Leiter des Templo-Mayor-Projekts, Eduardo Matos Moctezuma, unlängst überzeugend aufzeigte, als Umsetzung eben dieses Mythos in Stein verstanden werden.

Die Funde am Templo Mayor liefern aber auch Erkenntnisse über die Beziehungen der Azteken zu ihren Nachbarn, mit denen sie ein kompliziertes Bündnis- und Tributsystem verband, sowie über ihr Verhältnis zur Vergangenheit. Die Architektur des nördlich des Templo

TERMIN

Die Ausstellung »Azteken« ist noch bis zum 10. 08. 2003 im Martin-Gropius-Bau, Niederkirchnerstraße 7, 10963 Berlin, zu sehen; danach vom 19. 09. 2003 bis 11. 01. 2004 in der Kunst- und Ausstellungshalle der Bundesrepublik Deutschland, Friedrich-Ebert-Allee 4, 53113 Bonn.

MUSEO DEL TEMPLO MAYOR, MEXICO CITY; CONACULTA-INAH / MICHEL ZABÉ

Dieser goldene Brustschmuck aus der Zeit um 1500 zeigt den Feuergott Xiutecuhtli, der das Feuer des Lebens repräsentiert.

▷ Mayor gelegenen, so genannten Hauses der Adler etwa – hier waren 1994 zwei farbig bemalte Tonstatuen des Totengottes Mictlantecuhtli entdeckt worden – verweist präzise auf toltekische Säulenhallen, das Bild- und Ornamentprogramm auf die Tolteken-Stadt Tollán, rund achtzig Kilometer von Mexico City entfernt. Und die Verwendung von Bauteilen aus anderen Bauten oder die Nutzung verlassener Kultplätze durch Azteken deuten darauf hin, dass diesen – wie anderen mesoamerikanischen Kulturen vor ihnen – die Architektur der Vorfahren heilig war.

Bemerkenswert ist, dass die aztekische Kultur weder das Rad noch die Töpferscheibe kannte. Die Metallverarbeitung beherrschten sie erst spät. Selbst ohne das von den Maya entwickelte Kraggewölbe musste ihre Architektur auskommen; Werkzeuge und Waffen wurden aus Stein gefertigt. Trotz dieser Einschränkungen konnten sie Tenochtitlán zu riesiger Größe ausweiten, den Templo Mayor errichten, die Hauptstadt über ein Aquädukt mit Trinkwasser versorgen und ihre schwimmenden Gärten durch einen Damm vor weiterer Versalzung schützen. ◁

Matthias Mochner arbeitet als freier Journalist, Reiseleiter und Museumsführer in Berlin.

KOMMENTAR

Therapeutisch geklonte Kinder?

Künstlich erzeugte Eizellen sorgen für Zündstoff in der Diskussion ums therapeutische Klonen.

Und wieder haben wir der Natur ein Stückchen mehr Macht entzogen: Embryonale Stammzellen einer Maus entwickeln sich in der Petrischale zu Eizellen (Science 300, S. 1251, 2003). Sollten sie sich als fruchtbar erweisen, wäre dies ein folgenschwerer Triumph: Denn wenn sich auch fruchtbare menschliche Eier züchten ließen, bedeutete das eine technische Hürde weniger für das therapeutische Klonen.

Der Forschungszweig ist auf gespendete Eizellen angewiesen. Beim therapeutischen Klonen wird die Erbsubstanz (die DNA) einer ausdifferenzierten Körperzelle in eine Eizelle eingeschleust, deren Kern zuvor entfernt wurde. Aus diesem künstlichen Gebilde entwickelt sich ein Embryo, dessen Erbgut mit demjenigen des DNA-Spenders identisch ist. Die Stammzellen des Embryos können zu jedem Zelltyp und im Prinzip auch zu Ersatzorganen herangezüchtet werden, die – so hofft man – vom Immunsystem des genetischen Zwillings nicht mehr abgestoßen werden. Das würde völlig neue Chancen für die Therapie schwerer Krankheiten eröffnen.

Um Eizellen spenden zu können, muss eine Frau ovulationsfördernde Medikamente schlucken und sich einem chirurgischen Eingriff unterziehen. Dennoch stellen im Ausland viele Spenderinnen gegen Geld Keimzellen zur Verfügung. Könnten künstlich erzeugte Eizellen die natürlichen ersetzen, wäre das therapeutische Klonen zumindest vom Vorwurf des Handelns mit Keimzellen befreit.

Das ethische Problem wäre damit aber nur für diejenigen gelöst, die frühe Embryonen für nichts weiter als »aktivierte Eier« oder bloße Zellhäufchen halten. Für alle anderen verschärft sich die Diskussion, seit bekannt ist, dass therapeutisches Klonen im Prinzip auch zur Fortpflanzung eingesetzt werden kann. Ist die Technik erst ausgereift, steht zu erwarten, dass nicht nur die Zucht maßgeschneiderter Ersatzorgane als therapeutisch angesehen wird. Eine unfruchtbare Frau könnte »geheilt« werden, wenn in der Petrischale aus geklonten Stammzellen mit ihrer DNA fruchtbare Eier reifen, die sich besamen lassen. Wer würde da noch sagen, dass Unfruchtbarkeit nicht behandlungsbedürftig sei?

Die Mehrheit der UN-Mitgliedsstaaten fordert ein weltweites Verbot für reproduktives Klonen, also dem Austragen eines Klonembryos bis zur Geburtsreife. Therapeutisches Klonen hingegen findet bei immer mehr Wissenschaftlern und Politikern Zustimmung, obwohl der Embryo bei der Stammzellentnahme stirbt.

Allein der Gedanke, dass eine geklonte Kopie ihrer selbst existiert, ist für viele schrecklich. Falls der Klonembryo stirbt, damit aus einer Stammzelle eine »normale« Eizelle und schließlich ein Wunschkind werden kann – heiligt dann der Zweck das Klonen als Mittel?

Für eine unfruchtbare Frau hätte die künstliche Eizelle gegenüber dem Klonkind gleich mehrere Vorteile. Auch ihr Mann könnte seine Gene weitergeben und ihr selbst bliebe die Existenz einer Doppelgängerin erspart. Zudem könnte sie argumentieren, dass in etlichen Ländern auch bei der künstlichen Befruchtung überschüssige Embryonen verworfen werden.

Künstliche Eizellen könnten womöglich sogar homosexuellen Männern zu Nachwuchs verhelfen. Denn auch männliche embryonale Stammzellen haben das Potenzial, zu Eiern auszudifferenzieren. Das Kunstei könnte dann mit dem Samen eines anderen Mannes befruchtet werden.

Eines jedenfalls ist gewiss: Hat die Reproduktionsmaschinerie die technischen Hürden erst genommen, wird sie nicht mehr zu stoppen sein. Für ein nachträgliches Ändern der Spielregeln wäre es dann zu spät.

Pia Prasch

Die Autorin ist Diplombiologin und freie Wissenschaftsjournalistin in Heidelberg.

Gewinner und Verlierer

Die Vorteile der Globalisierung sind ungleich verteilt. Interessanterweise stehen diejenigen Länder am besten da, die dem Rat des Internationalen Währungsfonds zuwiderhandelten.

Von Rodger Doyle

Warum sind die größten Gewinner in den letzten zehn Jahren der Wirtschaftsglobalisierung zumeist in Süd- und Ostasien zu finden, wohingegen die größten Verlierer im ehemaligen Sowjetblock und in Schwarzafrika liegen? Die Geschichte liefert nur teilweise eine Erklärung: Ostasien hat eine jahrtausendealte Handelstradition, die vor kurzem dadurch belebt wurde, dass die Chinesen die Marktwirtschaft eingeführt haben. Die Sowjetunion hingegen war vor den Kräften der freien Marktwirtschaft fast siebzig Jahre lang geschützt. In Afrika haben bürgerkriegsähnliche Auseinandersetzungen oder mangelhafte Infrastrukturen, die zu hohen Transportkosten führen, zahlreiche Wirtschaftszweige behindert. Einige Länder sind benachteiligt, weil sie Binnenländer sind; bei vielen beschränkt sich der Handel fast ausschließlich auf Rohstoffe, deren Marktpreis in den letzten Jahren gefallen ist.

In einigen Regionen litten bestimmte Länder unter einer fehlgeleiteten Politik, die häufig unter dem Druck internationaler Institutionen, wie etwa dem Internationalen Währungsfonds (IWF), eingeschlagen wurde. Unter diesen Ländern befindet sich vor allem Russland, das in den frühen 1990er Jahren versuchte, die Marktwirtschaft einzuführen, ohne erst die Institutionen zu schaffen, durch die Kapitalismus überhaupt möglich ist, wie beispielsweise ein unabhängiges Bankensystem, Wirtschaftsgesetze und ein geeignetes Verfahren zum Einziehen von Steuern.

Ermutigt durch den IWF, die Weltbank und das US-Finanzministerium hat die Regierung von Präsident Boris Jelzin den staatlichen Industriesektor privatisiert und somit eine Klasse von Oligarchen geschaffen, die – weil sie wussten, wie instabil die Bedingungen im Heimatland sind – ihr Geld nach Übersee schickten, statt es zu Hause zu investieren. Unter dem Druck des IWF hat Russland einen zu hohen Wechselkurs eingeführt – ein Segen für all jene, die Luxusgüter importierten, jedoch eine Hürde für die Exportindustrien. Das Ergebnis war eine Katastrophe für die Angestellten, die sehr häufig nicht bezahlt wurden oder wenn, dann in Naturalien und nicht in Rubeln.

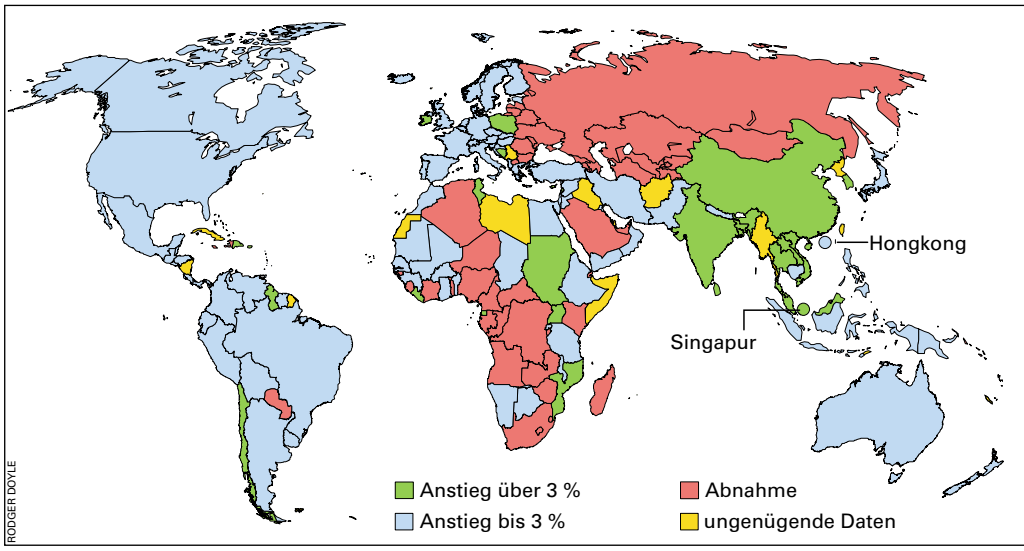
Wer nicht hört, gewinnt

China hingegen, der größte Gewinner der Globalisierung, ist der IWF-Formel nicht gefolgt. Von den ehemaligen Staaten des Sowjetblocks haben nur wenige, insbesondere Polen und Ungarn, ein Wachstum erreicht. Dies schafften sie, indem sie den Rat des IWF ignorierten und Expansionspläne entwickelten – darunter das Konzept, mehr auszugeben als durch Steuern eingenommen wurde. Botswana und Uganda sind ebenfalls Erfolgsländer: Trotz ihrer Nachteile erreichten diese Länder ein starkes Wachstum durch die Schaffung stabiler Staatsordnungen, die Handelsliberalisierung und durch Reformen – allesamt entgegen den IWF-Verordnungen.

Der IWF hat in den Entwicklungsländern eine falsche Politik verfolgt. Seine ursprüngliche Mission war, die Weltwirtschaft durch Fördern der Vollzeitbeschäftigung zu stützen. Aber laut Joseph Stiglitz von der Columbia-Universität in New York, dem Wirtschafts-Nobelpreisträger von 2001, wurde die Behörde in den letzten Jahrzehnten mehr und mehr von Wirtschaftswissenschaftlern dominiert, die eher dem Finanzsektor als den kreditnehmenden Ländern zugeneigt waren. In dem Glauben, dass Finanzstärke ein Vorteil sei, hat der IWF den kreditnehmenden Ländern eine kontraproduktive einschränkende Politik aufgezwungen. Stiglitz sieht erste zögerliche Anzeichen dafür, dass der IWF und andere internationale Institutionen, wie die Weltbank, ihren Ansatz ändern.

Falls dies zutrifft, wären die Beobachtungen von Stiglitz willkommene Neuigkeiten, da sich die Wirtschaftsglobalisierung in der Vergangenheit als starke Kraft zur Verringerung der Armut erwiesen hat. In China beispielsweise sank die Anzahl der Menschen, die in ländlicher Armut leben, zwischen 1978 und 1999 von 250 Millionen auf 34 Millionen. In weniger globalisierten Ländern stieg die Armut um vier Prozent zwischen 1993 und 1998, und in Russland stieg sie von zwei Prozent 1989 auf 24 Prozent 1998. ◁

Rodger Doyle ist freier Wissenschaftsjournalist in Buffalo, New York.



Die mittlere jährliche Veränderung im Bruttoinlandsprodukt pro Kopf der Bevölkerung, erhoben von 1990 bis 2001, zeigt: Zu den Gewinnern der Globalisierung zählt vor allem Südostasien, während die Länder der früheren Sowjetunion und ein Großteil Schwarzafrikas zu den Verlierern gehören.

1953

Schwanzloses Segelflugzeug

In Frankreich hat man eine alte Idee des Flugzeugbaues wieder aufgenommen. Der Konstrukteur Charles Fauvel entwickelte mit Unterstützung des Luftsportverbandes ein schwanzloses Segelflugzeug (Typ AV 36). Bereits bei den ersten Flugversuchen konnte mit dem neuen Modell-Flugzeug unter schwierigen Wetterverhältnissen eine Strecke von 460 km bei einer Druchschnittsgeschwindigkeit von 71 km/h zurückgelegt werden. Auch im Kunstflug, z. B. im Rückenflug und im Drehen von Loopings bestätigten sich die guten Flugeigenschaften der AV 36. *(Die Umschau, 53. Jg., Heft 15, 1953, S. 464)*

Die AV 36 hat eine Spannweite von 12 Metern und eine Länge von 3,10 Metern.

Saturn größer als bisher angenommen

Auf Grund von Beobachtungen der Jahre 1884 – 1948 über Störungen, die der Planet Saturn auf den Lauf des Jupiter ausübte, kam Dr. Hans G. Hertz vom US-Naval-Observatory zu dem Schluß, daß die Saturnmasse 1/3498 der Sonnenmasse betragen muß und somit etwas größer ist, als man bisher vermutete (1/3501Sonnenmasse). Entsprechend weist Saturn die 95,33fache Erdmasse auf. *(Kosmos, 49. Jg, Heft 8, 1953, S. 383)*

Jagd auf radioaktive Stubenfliegen

Neuerdings erforscht man besonders die Ausbreitung der Stubenfliege in bewohnten Gebieten, um sie wirksamer als bisher bekämpfen zu können. Dazu benutzten Schoof, Siverly und Jensen in der Stadt Phoenix, Arizona, mit radioaktivem Phosphor *P 32 gefütterte Stubenfliegen. In der Abenddämmerung wurden nach 12- bis 23stündiger Fütterung 87 000 Fliegen freigelassen, die alle am gleichen Ort gefangen waren, an dem sie nun aufgelassen wurden. Nach 72 Stunden waren einige schon über acht Kilometer weit geflogen, doch erfolgten 81 bis 88 Prozent der insgesamt etwa 500 Wiederfänge – wobei man die Versuchstiere mit einem Geigerrohr erkannte! – innerhalb von rund anderthalb Kilometer vom Auflassungsort. Sie häuften sich da, wo günstige Lebensbedingungen herrschten; diese müssen also beseitigt werden, wenn man eine Schranke zwischen einer viele Fliegen erzeugenden Stelle und einer anderthalb bis drei Kilometer entfernt liegenden Siedlung errichten will. *(Orion, 8. Jg., Nr. 15/16, 1953, S. 666)*

Lebende Lampen aus Bakterienkolonien

Lebende Lampen hat … H. Molisch aus Bakterienkolonien des sogenannten Micococcus phosphoreus hergestellt. Da sowohl die Einzelbakterien, wie in verstärktem Maasse die Kolonien, ein tiefblaues Licht aussenden, so sind sie trotz der geringen Wirkung auf das Auge von verhältnismässig hoher photographischer Kraft. Eine Kolonie konnte schon nach fünf Minuten in ihrem Lichte photographiert werden. … Molisch giebt an, dass sich seine Lampen zwei bis drei Wochen gehalten haben, dass er bei ihrem Lichte die Taschenuhr und das Thermometer erkennen konnte. *(Der Mechaniker, 11. Jg., Nr. 15, 1903, S. 176)*

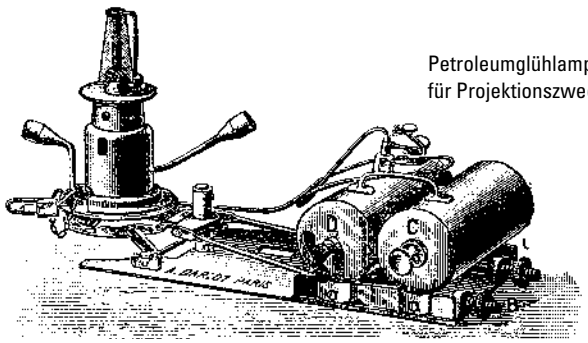
Regeneration der radioaktiven Fähigkeit des Urans

Becquerel hat beobachtet, daß, wenn man Uran gewissen chemischen Prozessen unterwirft, sein Strahlungsvermögen geschwächt wird. Gleichzeitig aber hat Becquerel gefunden, daß sich nach und nach die Radioaktivität in der früheren Stärke wieder herstellt. … Becquerel glaubt, daß es sich um eine Emanation kleiner Teilchen handelt … Die einen sind außerordentlich klein, mit großer Geschwindigkeit begabt und vermögen andere Körper zu durchdringen. Die anderen Teilchen ähneln den Gasmolekeln; sie werden von den Gefäßwänden zurückgehalten. *(Der Stein der Weisen, Bd. 29, 1903, S. 250)*

1903

Petroleumglühlampe

Die von der Société Auer konstruierte und … unter dem Namen »L'Etincelante« in den Handel gebrachte Petroleumglühlampe für Projektionszwecke besteht aus einem Petroleum enthaltenden Gefäss D und einem zweiten Behälter C, der vermittels einer Fahrradluftpumpe mit komprimierter Luft gefüllt wird. Diese Luft dehnt sich … aus, drückt auf die Oberfläche des Petroleums und bringt dasselbe … zum Ausströmen, bis es in den vor dem Apparat angebrachten Brenner kommt. Der in den heissen Teilen des Brenners gebildete Petroleumdampf mischt sich mit Luft, verbrennt auf einem Rost und bringt einen Glühstrumpf zum Glühen. … Zu den Vorteilen der Lampe gehört zunächst ihre bedeutende Lichtstärke, 8 bis 10 Carcels; Dochtlampen haben höchstens 2 Carcels. *(Der Mechaniker, 11. Jg., Nr. 16, 1903, S.188)*



Petroleumglühlampe für Projektionszwecke

REZENSIONEN

BIOGRAFIE

James D. Watson

Gene, Girls und Gamow

Erinnerungen eines Genies

Aus dem Amerikanischen von Inge Leipold.
Piper, München 2003. 420 Seiten, € 23,90

Herzlichen Glückwunsch zum Geburtstag, liebe Doppelhelix. Gratulationen dieser Art rauschten im Frühjahr zuhauf durch die Zeitungen und waren meist an die Entdecker der DNA-Struktur adressiert. Vor fünfzig Jahren erpuzzelten sich die Jungforscher James D. Watson und Francis H. C. Crick den spiralförmigen Aufbau des Erbmoleküls und ließen namhafte Konkurrenten vor Neid erblassen.

Mittlerweile zählen die zwei eigenwilligen Querköpfe zu den herausragendsten Biologen des vergangenen Jahrhunderts. Mit dem Paukenschlag vom April 1953 begannen für den US-Amerikaner Watson und den Briten Crick höchst erfolgreiche Wissenschaftlerkarrieren, die mit dem Nobelpreis im Jahr 1962 noch lange nicht abgeschlossen waren. In den Folgejahren machten beide nicht nur durch ihre Forschungsarbeit auf sich aufmerksam, sondern auch durch ihre frechen Bücher. Um den mittlerweile 75-jährigen Watson scharen sich noch heute die Journalisten, wenn sie Ansichten zur Gentechnologie suchen, die nicht immer politisch korrekt, aber für eine Schlagzeile gut sind.

Bereits in den Wissenschaftler-Zirkeln der 1950er Jahre stellte Watson sein Talent für unkonventionelle Auftritte unter Beweis. In seinem ersten Buch »Die Doppelhelix« von 1968 berichtet er, »wie Wissenschaft wirklich gemacht wird« – mit viel mehr Glück, viel mehr Spielerei und weniger Systematik, als der Laie gemeinhin annimmt. Der respektlose Ton und die schonungslose Darstellung von Freund und Feind hat einigen Mitstreitern seinerzeit Magendrücken bereitet.

Seine zweite, passend zum Jubiläum erschienene Autobiografie wird gleichfalls bei Kollegen Seufzer und beim Leser helles Entzücken auslösen. Es geht um die Zeit unmittelbar nach dem Aufsatz in der Fachzeitschrift »Nature«, der das berühmte Modell vorstellt. Diesmal steht jedoch nicht der wissenschaftliche Gegenstand im Mittelpunkt, sondern Leben und Leiden des aufstrebenden Forschers Watson. Nach wie vor dreht sich sein Leben um die ungelösten Fragen der Genetik, aber ebenso darum, wie er eine Freundin bekommt und mit Kollegen viel Spaß haben kann.

Die »Erinnerungen eines Genies« erfassen im Detail die Zeit vom April 1953 bis zum September 1956. Ein Epilog bündelt die wichtigsten Ereignisse bis zum März 1968. Strukturiert wird der Berichtszeitraum nicht so sehr von Experimenten und Versuchen als vielmehr von den äußeren Stationen im Werdegang des James Watson. Von Cambridge aus geht er zunächst an das angesehene California Institute of Technology in Pasadena. Verlassen und unglücklich verlässt er jedoch die USA für einen Forschungsaufenthalt im englischen Cambridge, bevor er dann im Herbst 1956 für etliche Jahre mit seiner Arbeit in Harvard beginnt.

Anstelle der DNA nimmt er das verwandte Molekül RNA ins Visier und versucht, seinen Bau und seine Bedeutung für die Synthese von Eiweißmolekülen zu bestimmen. Verschiedenste, auch ausgefallene Überlegungen stellt er allein oder mit Freunden an – und verwirft sie wieder. Die zündende Idee fehlt, notwendige Experimente wollen nicht recht glücken, und der Erfolg bleibt aus. Weder Watson noch seinen Freunden, mit denen er für die Arbeit den exklusiven »RNA-Krawattenclub« bildet, gelingt in dieser Zeit der Durchbruch. Dass der in Cambridge gebliebene Crick die Schlüsselidee formuliert, erkennen alle erst deutlich später.

JAMES D. WATSON COLLECTION, COLD SPRING HARBOR LABORATORY ARCHIVES

Die Girls des James D. Watson (Auswahl, von links): Christa, die Tochter des Ornithologen Ernst Mayr; Mary (»Manny«), die Ehefrau des Physikers und Medizinnobelpreisträgers Max Delbrück; und Elizabeth (»Liz«) Lewis, Watsons spätere Ehefrau.

Härter trifft den Springinsfeld allerdings eine Niederlage auf zwischenmenschlichem Gebiet. Lang und ernsthaft bemüht sich Watson um Christa Mayr, Tochter des in Harvard lehrenden Ornithologen Ernst Mayr. Da er aber zwischen Kalifornien und England pendelt und zwischendurch an nahezu jeder renommierten Universität Station machen muss, um seine Doppelhelix vorzustellen, steht die Beziehung unter keinem guten Vorzeichen. James leidet unter den Launen Christas und ist tief entmutigt, als sie nach Monaten die Beziehung zu ihm beendet. Erst zwölf Jahre später ist seine Brautschau erfolgreich.

Intellektuelle und menschliche Ablenkung bieten Treffen wie die mit dem russisch-amerikanischen Physiker George (»Geo«) Gamow, Mitbegründer des RNA-Krawattenclubs. Ebenso wie Watson ist der schrille Gamow immer für einen Spaß auf Kosten von Kollegen und Freunden zu haben und stets auf der Su-

che nach guten, alkoholseligen Partys. Hier und auf den zahlreichen Kongressen und akademischen Sommerkursen trifft Watson die Geistesgrößen seiner Zeit, die früher oder später ebenfalls gute Nachrichten aus Stockholm erhalten.

Im Buch nutzt er an diesen Stellen die Gelegenheit, dieses oder jenes kleine Geheimnis auszuplaudern: dass auch Wissenschaftler fremdgehen, uneheliche Kinder zeugen oder wegen Gesetzesverstößen höchstrichterlich verurteilt werden. Watson selbst muss eine Strafe zahlen, weil er sich vorübergehend illegal in Großbritannien aufhält. Der bunte Reigen an Anekdoten und Erlebnissen in Labors, auf Bergtouren, am Strand oder in den Salons reicher Förderer wird flott vorgetragen. Geradezu beiläufig kreuzen wissenschaftliche Hypothesen die Partygespräche und vermitteln die wissenschaftlichen Probleme der Zeit.

Auf Tiefenschärfe in der Darstellung der Charaktere verzichtet Watson weitgehend. Die Schilderungen geraten ihm zwar etwas oberflächlich, sind aber sehr vergnüglich und unterhaltsam. Es sind gar nicht so sehr die Genies, die dank ihrer Geisteskraft der Wissenschaft den Stempel aufdrücken. Es sind Menschen, die mit großer Lust und Freude an Ideen basteln und dabei den Spaß am Leben suchen.

Olaf Schmidt

Der Rezensent ist promovierter Molekularbiologe und Wissenschaftsjournalist in Neuss.

UR- UND FRÜHGESCHICHTE

Bärbel Auffermann und Jörg Orschiedt

Die Neandertaler

Eine Spurensuche

Theiss, Stuttgart 2002. 110 Seiten, € 26,–

Neben uns selbst ist der Neandertaler die am besten erforschte Menschenform. Mehr als 300 Funde von Skelettresten und noch mehr Fundplätze mit kulturellen Hinterlassenschaften haben reichhaltiges Material geliefert. Und selbst nach 148 Jahren hat die Erforschung des *Homo neanderthalensis* nichts an Aktualität verloren, im Gegenteil. Gerade in den letzten zehn Jahren haben Neufunde in Verbindung mit neuen Untersuchungsmethoden unsere bisherigen Vorstellungen zum Wesen und Leben dieses »Eiszeitmenschen« stark gewandelt. Das vorliegende Buch gibt einen Überblick über den aktuellen Stand der Forschung.

Beide Autoren sind ausgewiesene Kenner des Themas. Bärbel Auffermann ist Ur- und Frühgeschichtlerin und seit 1997 stellvertretende Direktorin am Neanderthal Museum in Mettmann in der Nähe des namensgebenden Fundorts. Ihr ehemaliger Kollege Jörg Orschiedt ist seit 1999 wissenschaftlicher Assistent am Archäologischen Institut der Universität Hamburg.

Die »Spurensuche« beginnt mit der Entdeckung der ersten Neandertalerknochen im Neandertal bei Düsseldorf und führt, nach einem kurzen Exkurs in die Stammesgeschichte des Menschen, über Aussehen und Leben hin zum Ende der Neandertaler. Im Anhang findet sich neben dem Literaturverzeichnis und einem Glossar der wichtigsten Fachbegriffe eine kurze Darstellung der Datierungsmethoden in der Archäologie. Sogar eine Liste mit Internet-Tipps gibt es hier.

Der durchweg gut verständliche und leicht lesbare Text wird ergänzt durch sehr anschauliche Fotos, Zeichnungen und Karten. Zahlreiche Informationen zu wenig bekannten Details zeugen von der Fachkompetenz der Autoren.

Auffermann und Orschiedt präsentieren Forschungsergebnisse stets objektiv und stellen unterschiedliche Theorien und Fundinterpretationen gleichberechtigt nebeneinander, sodass der Leser sich sein eigenes Urteil bilden kann. Gerade bei diesem Thema ist das eine Seltenheit, gibt es doch zur Urzeit des Menschen weit mehr Forscher und Theorien als Funde.

Das wird besonders deutlich im letzten Kapitel »Das Ende der Neandertaler«. Noch bis Mitte der 1980er Jahre galt der Neandertaler weithin als dummer, Keulen schwingender Primitivling, der durch den geistig weit überlegenen anatomisch modernen Menschen ausgerottet wurde. Heute besteht allgemeine Einigkeit darüber, dass diese Ansicht völlig falsch ist. Wie die Autoren in den vorherigen Buchkapiteln darstellen, kannten die Neandertaler Alten- und Krankenpflege, spezialisierte Jagdtechniken und zahlreiche Werkzeuge, waren zur Sprache fähig und bestatteten ihre Toten.

Sind nun die Neandertaler aus wenig spektakulären Gründen, zum Beispiel we- ▷

Bei der Rekonstruktion dieser Neandertaler-Gesichter legten die niederländischen Künstler Alfons und Adrie Kennis Wert auf ausdrucksstarke Mimik und Individualität.

▷ gen einer hohen Kindersterblichkeit, ausgestorben, oder haben sie sich mit den modernen Menschen vermischt und sind nach und nach in dessen Erbmaterial aufgegangen (vergleiche Spektrum der Wissenschaft 3/2003, S. 38)? Zahlreiche neue Datierungen belegen, dass beide Menschenformen nicht nur im Nahen Osten, sondern auch in Europa mehrere tausend Jahre lang zeitlich nebeneinander existiert haben. Ein Miteinander war also durchaus möglich und wahrscheinlich.

Der Paläogenetiker Matthias Krings von der Universität München konnte 1997 aus einem Oberarmknochen des

Zur Urzeit des Menschen gibt es weit mehr Forscher und Theorien als Funde

Erstfundes aus dem Neandertal erstmals DNA extrahieren. Aufgrund der Analyse dieses Erbgutfragments schlossen die Münchener Paläogenetiker eine Vermischung der beiden Menschenformen aus. Deren letzter gemeinsamer Vorfahr sollte demnach vor etwa 600 000 Jahren gelebt haben. Mittlerweile weiß man, dass diese sowie weitere Analysen nicht ausreichen, um die Verwandtschaftsfrage abschließend zu beantworten.

Für sehr viel Aufsehen sorgte dann ein Kinderskelett, das Ende 1998 unter einem Felsdach im Tal von Lagar Velho in Portugal entdeckt wurde. Nach Ansicht einiger Wissenschaftler, darunter des amerikanischen Neandertalerexperten Erik Trinkaus von der Washington-Universität in St. Louis, zeigen die 24 500 Jahre alten Knochen Merkmale sowohl des Neandertalers als auch des anatomisch modernen Menschen. Diese Interpretation wird in Fachkreisen sehr kontrovers diskutiert, und viele Wissenschaftler lehnen die Deutung des Fundes als Nachkomme einer Mischlingspopulation ab.

Dies alles zeigt, dass die Rätsel um das Verschwinden der Neandertaler noch längst nicht gelöst sind (siehe auch Spektrum der Wissenschaft 6/2000, S. 42). Deswegen werden zu diesem Thema noch viele Bücher geschrieben werden. Es bleibt zu wünschen, dass sie ebenso gut und empfehlenswert werden wie das vorliegende.

Wilfried Rosendahl

Der Rezensent arbeitet am Institut für Angewandte Geowissenschaften der Technischen Universität Darmstadt zum Thema »Mensch, Kultur und Umwelt im Pleistozän Mitteleuropas«.

KUNST UND WISSENSCHAFT

Gabriele Werner

Mathematik im Surrealismus

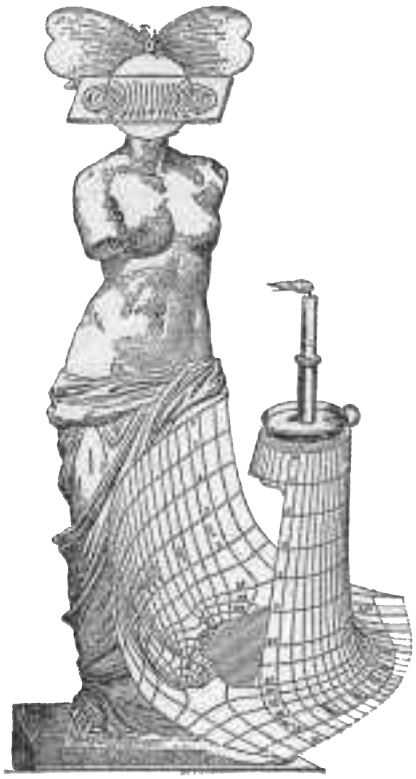
Man Ray – Max Ernst – Dorothea Tanning

Jonas, Marburg 2002. 200 Seiten, € 25,–

Schön wie die unvermutete Begegnung einer Nähmaschine und eines Regenschirms auf dem Seziertisch.« Dieser Satz des Comte de Lautréamont aus den »Gesängen des Maldoror« gilt gemeinhin als Leitmotiv des Surrealismus, auch wenn dessen Autor, der eigentlich Isidore Lucien Ducasse hieß und von 1846 bis 1870 lebte, zur Blütezeit dieser Kunstrichtung schon lange tot war.

Wo bei der ausgeprägten Neigung des Surrealismus zum Paradoxen, ja Absurden, ausgerechnet die Mathematik ihren Platz haben soll, leuchtet zunächst nicht ein. Aber die Aufmerksamkeit der Surrealisten fiel auf mathematische Modelle aus der Sammlung Martin Schilling – vormals L. Brill –, die um 1900 zu Unterrichtszwecken entstanden und in alle Welt vertrieben wurden. Max Ernst und in seinem Gefolge Man Ray entdeckten sie zufällig – wie es sich für richtige »ob-

Die Mathematik ist so schön wie die Venus von Milo. »At eye level«, Collage von Max Ernst, 1949.



jets trouvés« gehört – in einer verstaubten Vitrine des Pariser Institut Poincaré. Während Man Ray sie in kunstvoll arrangierte Fotografien (»Maquettes«, um 1935) einbaute, verwendete Max Ernst sie als Bausteine in Collagen (Bild links unten). Dem Mathematiker begegnen dabei bekannte Objekte wie die Enneper'sche Minimalfläche, die Boy'sche Fläche, Hyperboloide (welche als «hyperbolische Garnrollen« in Max Ernsts Collagen Einzug hielten), der Graph der *p*-Funktion und vieles mehr.

Darüber hinaus will uns die Autorin davon überzeugen, dass die Mathematik eine wesentliche Rolle für die Theorie der Surrealisten spielte. Hier beruft sie sich auf André Breton, der in »Die Krise des Objektes« (1936) der nichteuklidischen Revolution eine wichtige Rolle als Paradigma einer das Bewusstsein erweiternden, die Fantasie stärkenden Umwälzung zuweist. Der Mathematiker Henri Poincaré (1854–1912) mit seiner Betonung von Unbewusstem und Kreativität ist für sie eine Art Kronzeuge der Surrealisten bei ihrer Abgrenzung von der Betonmathematik à la Hilbert/Bourbaki. Die Belege für diese These sind allerdings eher indirekt: vage Parallelen und der Hinweis auf das intellektuelle Klima im Paris der 1910er und 20er Jahre.

Das Buch ist aus einer Dissertation hervorgegangen, was sich in Stil und Diktion deutlich bemerkbar macht. Der Leser findet sich unvermittelt wieder inmitten moderner diskurstheoretischer Erörterungen – für den nüchternen Mathematiker gewöhnungsbedürftig und nicht immer überzeugend. Auch der kunsthistorisch, literarisch oder ästhetisch interessierte Leser wird manches bislang Unbekannte antreffen: für beide Seiten also ein Ausflug in neues Terrain. Belohnt wird die Mühe allemal. Wie bemerkte schon Maldoror: »Arithmetik! Algebra! Geometrie! Grandiose Dreifaltigkeit, leuchtendes Dreieck! Wer euch nicht gekannt hat, ist ein armer Wicht!«

Klaus Volkert

Der Rezensent ist Professor für Didaktik und Geschichte der Mathematik an der Universität Frankfurt am Main.

▷

KOSMOLOGIE

João Magueijo

Schneller als die Lichtgeschwindigkeit

Der Entwurf einer neuen Kosmologie

Aus dem amerikanischen Englisch von Hainer Kober.
C. Bertelsmann, München 2003. 320 Seiten, € 23,90

Wie der Autor erzählt, hat ihn als Halbwüchsigen das Buch »Die Evolution der Physik« von Albert Einstein und Leopold Infeld für die Naturwissenschaft gewonnen. In dem in den 1950er Jahren erschienenen Werk geht es um zwei wissenschaftliche Revolutionen – von »Paradigmenwechsel« sprach wenig später der Wissenschaftshistoriker Thomas S. Kuhn –, die fast gleichzeitig unter Einsteins aktiver Mithilfe stattfanden: Seine Allgemeine Relativitätstheorie entthronte Newtons Gravitationstheorie und damit die klassische, jahrhundertelang unangefochtene Grundlage jeder physikalischen Theorie des Kosmos. Auch an den Anfängen der Quantentheorie wirkte Einstein entscheidend mit, weigerte sich aber später im Gegensatz zur Mehrzahl der Physiker, die Konsequenzen dieser zweiten Umwälzung zu akzeptieren.

Durch Einstein und Infeld zur Physik verführt zu werden ist nicht ohne Risiko: Erstens erweckt ihre ungemein geschickte und eingängige Darstellung – ohne eine einzige mathematische Formel – den Eindruck, jedes Kind könnte die neueste Physik verstehen; und zweitens wird der Leser auf die Idee gebracht, für die heutige Naturforschung seien Revolutionen im Fünfjahresrhythmus typisch. Doch die meisten Forscher treiben ihr Leben lang das, was Kuhn »normale Wissenschaft« nennt: Sie ergänzen Details, feilen an Nuancen und machen gelegentlich sogar größere Entdeckungen, die aber deswegen noch lange nicht revolutionär sein müssen.

João Magueijo – er lehrt nach Aufenthalten in Berkeley und Princeton nun Theoretische Physik am Londoner Imperial College – hat sich offensichtlich mit dieser Tatsache niemals abgefunden. Er möchte als Umstürzler in die Wissenschaftsgeschichte eingehen und rüttelt darum keck am Fundament der Relativitätstheorie, indem er die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit – der unüberwindlichen Höchstgeschwindigkeit für jegliche Bewegung – infrage stellt.

Seine VSL-Theorie (für »Varying Speed of Light«) gibt eine originelle Antwort auf die Frage, warum das Weltall heute allen Beobachtungen zufolge im Großen so überaus homogen ist, obwohl es der Urknall eigentlich in separate, völlig unzusammenhängende Fetzen hätte zerreißen müssen. Die Kosmologen sprechen vom Horizontproblem: Jeder Beobachter innerhalb einer bestimmten Raumregion sieht nicht weiter, als das Licht Zeit hatte, bis zu ihm zu gelangen. Beispielsweise war der Horizont ein Jahr nach dem Urknall nur ein Lichtjahr groß – ein Bruchteil der damaligen Größe des Universums. Demnach müsste das Universum heute ein Patchwork aus unzähligen voneinander abgekoppelten Bereichen mit völlig unterschiedlichen Eigenschaften sein – ist es aber nicht.

Die gängige Lösung des Horizontproblems heißt kosmische Inflation: Unmittelbar nach dem Urknall blähte das All sich derart rapide auf, dass der expandierende Raum selbst das Licht überallhin mitnahm. Eine Ameise, die über einen Ballon läuft, der gerade aufgeblasen wird, kommt auch schneller voran, als sie ihrer Natur nach laufen könnte. Die Physiker postulieren als Ursache der Inflation ein damals wirksames, stark abstoßendes »Inflaton«-Feld. Magueijo hingegen pro-

Jeder soll nach Belieben veröffentlichen können – eine grässliche Idee

pagiert stattdessen die ketzerische Idee, damals sei die Lichtgeschwindigkeit um einen riesigen Faktor größer gewesen als heute.

Eine so radikale Änderung des Weltbildes ist allerdings ein Preis, den kaum ein Physiker zu zahlen bereit ist, um eine Erklärung für ein spezielles kosmologisches Problem zu bekommen. Das Inflatonfeld ist eine typische Ad-hoc-Lösung für das Horizontproblem, während Magueijo dafür gleich die gesamte Physik umstürzen will. Er gleicht einem Vabanquespieler, der alles auf eine Karte setzt, indem er inmitten einer Phase »normaler Wissenschaft« behauptet, Pro-

Die 5x5-Rezension des Monats von wissenschaft-online

Frank Hurley
Mit der Endurance in die Antarktis
Shackletons Südpol-Expedition 1914–1917. Die legendären Fotos von Frank Hurley
DuMont monte, Köln 2001, 320 Seiten, € 55,00

Wer kennt nicht den berühmten Wettlauf zum Südpol zwischen Amundsen und Scott. Dagegen sind der Antarktiserforscher Sir Ernest Shackleton und seine Expeditionen trotz ihrer historischen Bedeutung im deutschsprachigen Raum meist nur Liebhabern der Antarktis bekannt. Doch auch wer bisher nicht zu diesem Kreise zählte, sollte einen Blick auf dieses Buch werfen.

Der Hauptteil des Werks ist den Fotografien Frank Hurleys gewidmet. Von den sorgfältig geplanten und komponierten Aufnahmen des Expeditionsschiffes bis hin zu den Momentaufnahmen des Expeditionsalltages vermitteln sie einen tiefen Eindruck von diesem abweisenden Teil unserer Erde.

Aus der Rezension von Michael Seeling

5x5 Rubriken	Punkte 1 • 2 • 3 • 4 • 5
Inhalt	■■■■
Didaktik	■■■■■
Suchen/Finden	■■■■■
Lesespaß	■■■■
Preis/Leistung	■■■■
Gesamtpunktzahl	22

Den kompletten Text und zahlreiche weitere Rezensionen von wissenschaft-online finden Sie im Internet unter
http://www.wissenschaft-online.de/5x5

phet der nächsten wissenschaftlichen Revolution zu sein.

Nun kann es durchaus spannend sein, einem Spieler bei dem Versuch zuzusehen, die Bank zu sprengen, und über weite Strecken ist es auch höchst vergnüglich, Magueijos Buch zu lesen. Man erlebt mit, wie der »normale« Forschungsbetrieb – gleichsam der Croupier in diesem Wissenschaftsroulette – sich gegen die Zumutung eines Newcomers wehrt, der selbst an der Rouletteschreibe drehen möchte.

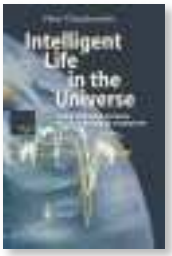
Weniger Spaß macht, dass Magueijo ein schlechter Verlierer ist. Weil die meisten Physiker verständlicherweise nicht ohne weiteres bereit sind, die wichtigste Naturkonstante der Kosmologie zur freien Disposition zu stellen, beginnt er auf den Forschungsbetrieb zu schimpfen. Er kokettiert mit der Rolle des Enfant terrible, benimmt sich aber oft nur kindisch. So bezeichnet er die Wissenschaftsredakteure von »Nature« und »Physical Review« als unfähig, weil sie seine Arbeiten nicht oder nur zögernd abdruckten. Ob man seine Mutmaßungen über die »Impotenz« wissenschaftlicher Kontrahenten witzig findet oder seinen Vorschlag, das »M« in M-Theorie – einer Weiterentwicklung der Stringtheorie – als Kürzel für Masturbation zu deuten, ist Geschmackssache.

Mit manchem wird er freilich Zustimmung finden. Viele Forscher sind wie er unzufrieden mit dem schwerfälligen »Peer-review«-Verfahren, bei dem Gutachter, die oft wissenschaftliche Widersacher sind, über die Publikation einer Arbeit entscheiden. Doch Magueijo vertritt die radikale Alternative: völlige Abschaffung jedes Prüfverfahrens; jeder soll nach Belieben veröffentlichen können. Damit müsste jeder für sich herausfinden, was in der wissenschaftlichen Literatur haltlose Spekulation ist und was nicht – eine grässliche Idee.

Als locker geschriebener Erlebnisbericht eines antiautoritären Theoretikers gibt das Buch unterhaltsame Einblicke in den heutigen Forschungsbetrieb; als parteiisches Plädoyer für Magueijos eigene Theorie ist es mit großer Vorsicht zu genießen. Sofern es den Eindruck erweckt, die Wissenschaft sei in Konventionen erstarrt und sperre sich prinzipiell gegen alles Neue, ist das Buch sogar schädlich. Denn damit adelt es jeden Anhänger einer närrischen Idee zum wissenschaftlichen Märtyrer.

Michael Springer

Der Rezensent ist promovierter Physiker und ständiger Mitarbeiter von Spektrum der Wissenschaft.



AUSSERIRDISCHES

Peter Ulmschneider

Intelligent Life in the Universe

From Common Origins to the Future of Humanity

Springer, Berlin 2003. 261 Seiten, € 74,85

Undenkbar, dass wir die einzigen intelligenten Wesen im All sind! 10^{22} Sterne ziehen ihre Bahnen durch den Kosmos. Um viele von ihnen kreisen Planeten, gewärmt vom Licht ihrer Sonnen. Gleichen manche davon der Erde, haben sie vielleicht Leben hervorgebracht und beherbergen möglicherweise viel ältere Zivilisationen als die unsere? Damit Gedankenspiele über die Existenz Außerirdischer nicht zum hochspekulativen Zeitvertreib geraten, hat sie Peter Ulmschneider, Professor für Theoretische Astrophysik an der Universität Heidelberg, auf eine solide wissenschaftliche Grundlage gestellt.

Seinen Lesern bietet er eine profunde Einführung in die Entstehung von Planeten, Leben und Intelligenz. Wie bilden sich Planeten, wie gelangt Wasser auf manche von ihnen, und welche äußeren Umstände machen sie dauerhaft bewohnbar?

Anschließend wechselt der Autor abrupt von Astronomie und Physik zu Biologie und Genetik. Die junge Erde als chemisches Labor schildert Ulmschneider ebenso kenntnisreich wie die Frühphasen des Lebens bis hin zur DNA-Hybridisierung und der Entwicklung des Gehirns.

Kann ein Außerirdischer Stielaugen haben? Wahrscheinlich nicht. Es ist zwar unstreitig ein Vorteil, zwei Blicke unabhängig voneinander und ohne die Bewegung großer Massen kreisen lassen zu können. Aber die Entfernungsbestimmung durch beidäugiges Sehen hängt an der Umrechnung von Winkeln in Entfernungen; und die funktioniert nur, wenn die Grundlinie – sprich der Augenabstand – von konstanter Länge ist.

Leichte Kost wird nicht geboten. Das Inhaltsverzeichnis steht dem eines Lehrbuchs kaum nach, der Text ist knapp gehalten, wenn auch durch zahlreiche Grafiken aufgelockert. Erst wer sich vom Urknall bis zur kulturellen Evolution des Menschen durchgearbeitet hat, dringt allmählich zum eigentlichen Thema des Buches vor. Deuten die mikroskopischen Strukturen auf dem Marsmeteoriten ALH84001 tatsächlich auf Leben hin? Sind die bislang gefundenen mehr als einhundert extrasolaren Planeten Kandidaten für bewohnte Welten? Eine kleine Methodenlehre, wie sich weitere Planeten außerhalb unseres Sonnensystems entdecken lassen, führt zudem in die Schwierigkeiten der Suche nach E. T. ein.

Am Ende zeigt sich, wie sehr wir bei der Frage nach den Außerirdischen eben doch auf Vermutungen angewiesen sind. Ein Blick in die mögliche Zukunft unserer eigenen Zivilisation muss ersetzen, was wir über die da draußen nicht wissen können. Systematisch analysiert Ulmschneider daher die Optionen der Menschheit: von der vergleichsweise nahe liegenden Ausbeutung der Rohstoffe auf Asteroiden über die Kolonisierung des Sonnensystems bis hin zur Möglichkeit von Raumreisen.

In nicht allzu ferner Zukunft werden wir Ulmschneider zufolge den Bauplan ▷

PREISRÄTSEL

Pauls Kartentrick

Von Pierre Tougne

Paul nimmt ein normales Rommé-Kartenspiel mit 52 Spielkarten. Dieses enthält in allen vier Farben jeweils ein As, dem er den Wert eins zuweist, die Karten von der Zwei bis zur Zehn, die ihrem jeweils aufgedruckten Wert entsprechen, einen Buben (Wert 11), eine Dame (Wert 12) und einen König (Wert 13). Paul mischt das Kartenspiel und bildet nach folgender Vorschrift mehrere Stapel:

»Ziehe eine Karte und lege sie offen hin. Ergänze den Stapel mit so vielen Karten, dass die darauf gelegte Anzahl der Karten und der Wert der ersten Karte in der Summe 13 ergeben.« Beispielsweise sind also bei einer Sieben sechs weitere Karten auf den Stapel zu legen und bei einer Dame kommt eine Karte dazu.

»Ist der Stapel aufgefüllt, ziehe die nächste Karte und verfahre ebenso, bis schließlich alle Karten auf Stapel verteilt sind. Ist der letzte Stapel nicht vollständig zu ergänzen, so nimm alle Karten dieses Stapels in die Hand.«

Danach darf das Publikum von diesen Stapeln drei ausdeuten. Diese bleiben auf dem Tisch, während Paul alle übrigen Karten wieder in die Hand nimmt. Die drei Stapel dreht er um und deckt bei zwei von ihnen die nun oben liegende Karte auf.

Wie kann er aus der Anzahl der Karten in seiner Hand und dem Wert der beiden umgedrehten Karten den Wert der Karte bestimmen, die noch auf dem dritten Stapel verdeckt liegt, ohne nachzuzählen, wie viele Karten dieser Stapel enthält?

Schicken Sie Ihre Lösung in einem frankierten Brief oder auf einer Postkarte an Spektrum der Wissenschaft, Leserservice, Postfach 104840, D-69038 Heidelberg.

Unter den Einsendern der richtigen Lösung verlosen wir fünf »Original Schweizer Taschenmesser«. Der Rechtsweg ist ausgeschlossen. Es werden alle Lösungen berücksichtigt, die bis Dienstag, 12. August 2003, eingehen.

Lösung zu »Ungerade gewinnt« (Juni 2003)

Paula, die Spielerin, die nicht beginnt, gewinnt bei einer Partie mit 19 Münzen.

Allgemein hat sie immer dann eine Gewinnstrategie, wenn die Anfangszahl u der Münzen von der Form $u = 4i-1$ mit einer natürlichen Zahl i ist.

Hartmut Fenner aus Hamburg gab die folgende Gewinnstrategie für Paula als Nachziehende an: »Nimm stets so viele Münzen, wie Paul im letzten Zug genommen hat. Wenn nur noch eine Münze übrig ist, nimm sie.«

Auf diese Weise sammeln Paul und Paula gleich große Münzhäufchen an, und die Zahl der Münzen auf dem Tisch sinkt in jedem Zugpaar um 2 oder 4, bis nur noch eine oder drei Münzen auf dem Tisch liegen und Paul am Zug ist.

Im ersten Fall hat jeder der Spieler eine ungerade Anzahl von Münzen, nämlich $(4i-2)/2 = 2i-1$ Stück, angesammelt. Paul muss die letzte nehmen und hat damit verloren.

Im zweiten Fall haben beide Spieler geradzahlige Münzhäufchen, nämlich $(4i-4)/2 = 2i-2$ Stück. Nimmt Paul eine Münze, dann nimmt Paula auch eine und bringt Paul damit in die Verliererersituation des ersten Falles. Nimmt Paul aber zwei, so nimmt Paula die letzte Münze und hat auch gewonnen.

Ist dagegen die Anfangszahl der Münzen $u = 4i+1$, gewinnt Paul. (Jede ungerade Zahl ist entweder von der Form $u = 4i-1$ oder $u = 4i+1$.) Dazu zieht er zwei Münzen und bringt damit Paula in die (Verlierer-)Situation der Anziehenden mit $u = 4i-1$ Münzen. Anschließend verfolgt er gegen Paula die obige Strategie.

Die Gewinner der fünf Rucksäcke »Elefant« sind Bernhard Marzetta, Riehen (Schweiz); Justus Fuhrmeister, Uffenheim; Heinz Wechsler, Asperg; Gerhard Taake, Paderborn; und Volker Hohmann, Hasselroth.

Lust auf noch mehr Rätsel? Unser Wissenschaftsportal wissenschaft-online (www.wissenschaft-online.de) bietet Ihnen unter dem Fachgebiet »Mathematik« jeden Monat eine neue mathematische Knobelei.

▷ unseres Gehirns kennen und dann unser eigenes genetisches und biologisches Potenzial ausschöpfen, möglicherweise auch Androiden bauen können. Allerdings nur, wenn wir die allgegenwärtige Bedrohung unserer Welt meistern, ob durch Virusinfektionen, Asteroideneinschläge oder irrationales Handeln mit den Folgen Krieg und Umweltzerstörung.

Lesenswert ist Ulmschneiders Buch allemal: Präzise, systematisch und kompakt referiert der Autor über ein hochinteressantes Themengebiet, in einer beeindruckenden Mischung aus Überblicksvorlesung und detaillierter Analyse. Der Anspruch, aus einem Blick in unsere eigene Vergangenheit und die nähere Zukunft Wesentliches über unsere kosmischen Nachbarn ableiten zu können, wird allerdings nicht erfüllt. Zu unverbunden stehen die einzelnen Teile des Buches nebeneinander, zu wenig dienen sie als Voraussetzung für weiterführende Überlegungen. Zudem geraten zentrale Themen ärgerlich knapp: Intelligenz,

Höher entwickelte Aliens werden uns Primitivlingen aus dem Wege gehen

kulturelle Evolution oder die Erzeugung von Leben im Labor, auf jeweils ein bis zwei Seiten zusammengestaucht, lassen sich – auf gegebenem Niveau – nicht mehr informativ abhandeln.

Möglicherweise werden wir nie Kontakt zu höher entwickelten extraterrestrischen Wesen herstellen. Die nämlich haben nach der 1973 formulierten «Zoo-Hypothese« von John Ball gute Gründe, die Tatsache ihrer Gegenwart zu verschleiern. Wenn sie tatsächlich seit Jahrmillionen existieren, ohne sich selbst in den Untergang gestürzt zu haben, dann verfügen sie sehr wahrscheinlich über ein hohes Maß an ethischer Disziplin. Daher werden sie den – vermutlich katastrophalen – Zusammenprall ihrer Gesellschaft mit unserer vergleichsweise unterentwickelten Kultur zu vermeiden suchen.

Was uns bleibt, ist also die Entdeckung von Leben auf einer niedrigeren Entwicklungsstufe. Bis wir es aufgespürt haben, können noch Jahrtausende vergehen. Dann allerdings werden wir uns vielleicht ebenfalls dafür entscheiden, es sich ungestört entfalten zu lassen. ◁

Thilo Körkel

Der Rezensent ist Diplomphysiker und Wissenschaftsjournalist in Frankfurt am Main.

MIKROBIOLOGIE

Keine Angst vor Mikroben im Netz

Im Internet sind die Kleinstlebewesen auf den ersten Blick alle ganz nett. Nach den Krankheitserregern müsste man etwas länger suchen.

Von Nardine Löser

Es ist ganz hilfreich, dass wir mikroskopisch kleine Lebewesen nicht mit bloßem Auge erkennen können. Vielleicht bekämen wir Angstzustände, wenn wir – gesund und frisch gewaschen – nur unsere Haut und unsere Schleimhäute betrachten würden. Auf jeden Fall würden wir uns nie wieder allein fühlen. Tausende von Kleinstlebewesen fühlen sich rundum wohl auf und in uns.

Das Internet gestattet einen Blick aus sicherer Entfernung. Unter **http://www-ang.kfunigraz.ac.at/~hinghofe/Mikroben.htm** zeigt der Physiologe Helmut G. Hinghofer-Szalkay, wie sympathisch das Zusammenleben mit den Mikroben sein kann. Wir dienen ihnen als Lebensraum; sie helfen uns bei der Nahrungsverwertung und vertreiben ihre weniger sympathischen Artgenossen.

Die Website **http://www.icbm.de/pmbio/Grundlagen-der-Mikrobiologie/fragen/fragant.htm**, die vom Institut für Chemie und Biologie des Meeres (ICBM) der Universität Oldenburg betrieben wird, verpackt wertvolle Information in die Form eines Frage- und Antwort-Spiels, das sich durchaus als Prüfungsvorbereitung eignet. Was ist der Gegenstand der Mikrobiologie? Alles, was aufgrund seiner Größe nur mit dem Mikroskop auszumachen ist. Bakterien, Pilze und Einzeller zählen dazu, aber auch Viren und Prionen.

Während die Oldenburger Wissenschaftler nur die Theorie beleuchten, legt die Seite **http://commtechlab.msu.edu** der Michigan State University mehr Wert auf das Praktische. Ein Lernprogramm für mikrobiologische Ökologie (**http://commtechlab.msu.edu/sites/dlc-me/**) schickt einen auf eine Entdeckungstour durch die Welt der Mikroorganismen. Mit einigen Mausklicks gelangt man zu schönen Fotoreihen, witzigen Artikeln und zu einem eigens für Mikroben eingerichteten Zoo (**http://commtechlab.msu.edu/sites/dlc-me/zoo/index.html**, Bild rechts oben). Eine kuriose Idee: Mikroorganismen würden auch ohne Zoo prächtig gedeihen; aber die Metapher ist hilfreich. So gewährt uns im Tierpavillon ein Rind einen Blick in sein Innerstes: den Pansen, wo viele an der Nahrungszersetzung beteiligte Einzeller in Aufnahmen mit einem Raster-Elektronenmikroskop zu bestaunen sind. Mitten im Zoo liegt die Snackbar, wo *Lactobacillus*, *Saccharomyces* und andere bei der Herstellung von Bier, Brot und Joghurt helfen.

Interessante Bilder und viele Einzelheiten zur Lebensmittelproduktion gibt es bei einem Spaziergang durch den »Mikrobiologischen Garten« zu entdecken. Auf **www.mikrobiologischer-garten.de/** will der Paläomikrobiologe Heribert Cypionka von der Universität Oldenburg die fast unendliche Welt der Mikroben vor dem Betrachter ausbreiten (Bild links unten). Erst im Februar dieses Jahres eröffnet und noch im Ausbau befindlich, steckt der virtuelle Garten schon jetzt voller Überraschungen. Die leicht verständlichen Beiträge, Berichte und Fotos laden jeden zum Verweilen ein, der in einen der bisher 23 Themenbereiche klickt. Ein Schwerpunkt liegt auf den im Wasser lebenden Mikroorganismen. Sogar die Bewegungsspuren mikroskopisch kleiner Kieselalgen am Meeresboden sowie die Laufspuren begeißelter Bakterien gibt es zu entdecken (unter »Diatomeen« bzw. »Wie Bakterien schwimmen«).

Einige Mikroorganismen verfügen über eine Art Leuchtkraft und dienen, eingelagert in größere Organismen, diesen zur Kommunikation. Taucht man ins Meer oder unter **www.biobay.com** ins Internet, erstrahlen Tausende in ihrem eigenen Glanz. ◁

MARCUS BAUMANN

Coscinodiscus wailesii **ist die größte Diatomee der Nordsee, hier etwa 0,3 Millimeter im Durchmesser.**

D.C. COMMTECH LAB, MICHIGAN STATE UNIVERSITY

Die Wasserabteilung des Mikrobenzoos (»Water World«) zeigt dem Besucher Lebensräume im Abwasserrohr, im Teich, an der Meeresoberfläche sowie am Grunde der Tiefsee.

Die Autorin ist Diplombiologin und Wissenschaftsjournalistin in Berlin.

FOTOS: ELKE REINECKE

Ein Teller (links), mit der Öffnung nach unten auf dem Tisch kreiselnd, macht erheblichen Lärm, vor allem kurz bevor er sich zur Ruhe setzt. Noch wesentlich eindrucksvoller, aber im Wirtshaus meist nicht zur Hand, sind ein großer kreisrunder Mülleimerdeckel (rechts) oder eine ausgediente Satellitenschüssel (ganz rechts), die nicht einmal kreis-, sondern ellipsenförmig ist.

KREISELPHYSIK

Der wilde Tanz des Tellers

Es muss nicht unbedingt ein Teller sein. Was rund, flach und hinreichend schwer ist, fängt – schwungvoll auf dem Tisch abgelegt – leicht an zu kreiseln. Immer schneller scheint der Gegenstand sich zu drehen; aber das ist eine – geräuschvoll untermalte – Täuschung.

Von Wolfgang Bürger

Eklat im Restaurant: Haben Sie sich auch schon in einem Gasthof vom Kellner vernachlässigt gefühlt? Alle Gäste rundherum scheint er zu bedienen, nur Sie nicht. Dagegen gibt es ein einfaches Mittel. Wir haben es mehr als einmal mit Erfolg erprobt, als wir nach langer Wanderung mit drei müden und durstigen Kindern im Wirtshaus einkehrten.

Nach angemessener Wartezeit holten wir uns einen großen flachen Teller (es tut auch, etwas weniger dramatisch, ein kleinerer Teller, zur Not sogar ein runder Aschenbecher). Wir schlugen das Tischtuch zurück und brachten den Teller hochkant um die Senkrechte zum Drehen. Etwas müde geworden, kippte der Teller, tankte im Fallen noch etwas neue Bewegungsenergie, rutschte vielleicht ein Stück über den Tisch, kreiselte aber weiter, nun schon fast in horizontaler Lage (Bild oben, links).

Am eindrucksvollsten kreiseln flache Teller mit der Unterseite nach oben, sodass sie sich auf ihren Rand stützen können. Immer schneller sieht (und hört) man den Stützpunkt des Tellerrandes um den Teller kreisen; doch der Teller selbst dreht sich immer langsamer. Man erkennt das leicht an einem Zeiger, den man auf den Tellerboden klebt, oder am aufgedruckten Firmenstempel der Porzellan-Manufaktur. Der Rollwiderstand auf dem Tisch und der Luftwiderstand tun zwar alles, den Energievorrat des kreiselnden Tellers aufzuzehren, aber das unschuldige Essgeschirr steigert sich am Ende trotzdem noch zu einem *Finale furioso*. Die Tischplatte ist ein guter Resonator, und so hört man den kreiselnden Teller lauter und lauter werden. Die Leute von den Nachbartischen beginnen uns missbilligend zu mustern; aber es dauert nicht mehr lange bis zu dem großen Schlussakkord, der auch den harthörigsten Kellner motiviert, endlich unsere Bestellung aufzunehmen.

Euler-Scheibe: Eine derartige Vorstellung lässt sich nicht nur mit Ess- und Küchengeschirr, Hartgeld oder dem Ehering ▷

JOSEPH BENDIK

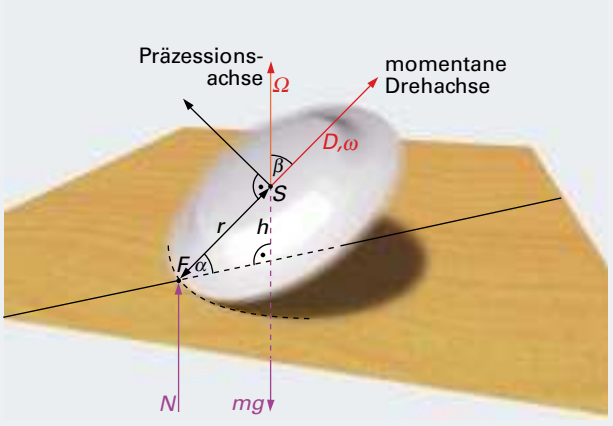
Die Euler-Scheibe, schwer und perfekt zylindrisch, ist mit ihrem glitzernden Überzug nicht zu übersehen und beim Kreiseln in einem flachen, gläsernen Teller auch nicht zu überhören.

Der unendlich schnell rotierende Fußpunkt

In der dramatischen Schlussphase des Tellerkreiselns ist die Horizontalbewegung des Tellerschwerpunkts auf dem Tisch bereits abgeklungen, und der Teller kreiselt („präzediert“) um die ruhende senkrechte Achse durch seinen Schwerpunkt S. Dieser liegt in der Höhe $h = r \sin\alpha$ über der Tischebene (r Radius, α Anstellwinkel des Tellers) und senkt sich beim Abklingen der Bewegung (infolge Roll- und Luftreibung), bis der Teller auf dem Tisch zur Ruhe kommt. (Der Anlaufvorgang ist zu komplex, ihn hier darzustellen.) Wie sich später herausstellt, ist die Gesamtenergie des Tellers in dieser Phase der Schwerpunktshöhe h direkt proportional: $E = (3/2)mgh$, und verteilt sich im Verhältnis 1 : 2 auf kinetische und potenzielle Energie im Schwerefeld (m Masse des Tellers, $g = 9,81\,\mathrm{m/s^2}$ Schwerebeschleunigung).

Um die Rollbewegung entlang dem Umfang zu studieren, gehen wir davon aus, dass der Schwerpunkt ruht (indem wir seine viel langsamere Abwärtsbewegung vernachlässigen). Der Fußpunkt F, auf den sich der Teller momentan stützt, wandert auf dem Tisch, während sein Gegenpunkt auf dem Teller dessen Umfang entlangläuft. Der F und S verbindende Radius bildet die momentane Drehachse. Bezüglich dieser Achse hat der Teller (ungefähr) das Trägheitsmoment $A = mr^2/4$ (die Formel wäre exakt, wenn der Teller eine Scheibe wäre). Dreht er sich um diese Achse mit der Winkelgeschwindigkeit ω, hat er in dem mit F mitlaufenden Bezugssystem den Drehimpuls $D = A\omega$. Während er auf seinem Rand rollt, präzediert er mit der Winkelgeschwindigkeit Ω um die vertikale Achse durch den Schwerpunkt, die mit der Richtung des Drehimpulses den Winkel $\beta = 90° - \alpha$ einschließt. Die zeitliche Änderung des Drehimpulsvektors $\vec{D}$ ist das Drehmoment $\dot{\vec{D}} = \vec{\Omega} \times \vec{D}$; dessen Betrag ist $\Omega A\omega \cos\alpha$.

Andererseits wird dieses Drehmoment von der dem Gewicht mg entgegengesetzt gleichen Stützkraft N im Fußpunkt F des Tellers verursacht und hat daher (Kreuzprodukt von Kraftarm der Länge r und Kraft) den Betrag $rmg\cos\alpha$. Die Gleichsetzung beider liefert die Drehimpulsbilanz $\Omega\omega A = rmg$, die sich nach Einsetzen der Formel



THOMAS BRAUN / SPEKTRUM DER WISSENSCHAFT

für A zu $\Omega\omega = 4g/r$ vereinfacht. Die rechte Seite der Gleichung ist eine von der Bewegung unabhängige Konstante.

Die beiden Winkelgeschwindigkeiten sind also zueinander reziprok (je langsamer der Teller rotiert, desto schneller präzediert er); aber wie hängen sie vom Anstellwinkel α des Tellers ab? Für einen sehr steil stehenden Teller fällt ω mit Ω zusammen; kreiselt er sehr flach, geht ω gegen null. Das legt bereits den Zusammenhang $\omega = \Omega \sin\alpha$ nahe, der durch Zerlegung von $\vec{\Omega}$ in Komponenten parallel und senkrecht zur Tellerebene bestätigt wird. Daraus folgt

$$\Omega = \sqrt{\frac{4g}{r\sin\alpha}} \quad \text{und} \quad \omega = \sqrt{\frac{4g\sin\alpha}{r}} \quad .$$

Je flacher der Teller kreiselt, desto schneller läuft sein Fußpunkt mit Ω um seinen Rand und desto langsamer dreht er sich um die (wandernde) Achse durch Schwerpunkt und Fußpunkt.

Wie schnell dreht sich der Teller dabei um sich selbst? Eine genauere geometrische Betrachtung ergibt für diese Winkelgeschwindigkeit den Wert $\Omega(1 - \cos\alpha)$, und das strebt für $\alpha \to 0$ gegen null (in Übereinstimmung mit der Beobachtung), obgleich Ω gegen unendlich strebt.

Die Präzessionsachse des kleinen Kreisels liegt tangential zum großen Ring, seine Drehachse ist dagegen um etwa 45 Grad geneigt (oben). Indem Sarah den großen Ring rotieren lässt, führt sie den kleinen Ringen ständig Energie zu und hält damit deren Kreiselbewegung aufrecht (rechts).

▷ geben, sondern mit allen möglichen Gegenständen, die sowohl rund als auch flach sind. Einige davon, wie Bierdeckel, Schallplatten und Hula-Hoop-Reifen, stellen sich wenig eindrucksvoll dar. Leicht, wie sie sind, legen sie sich schon nach wenigen Umläufen friedlich zur Ruhe. Für eine spektakuläre Show muss der kreiselnde Gegenstand schwer sein, damit er über einen möglichst großen Vorrat an potenzieller Energie verfügt, und sehr glatt an der Abrollkante, damit die Reibung lange braucht, diesen Vorrat aufzuzehren. Ein spielfreudiger Ingenieur namens Joseph Bendik aus Kalifornien hat das beherzigt und ein verkäufliches Spielzeug entworfen. Es heißt »Euler-Scheibe« nach dem bedeutenden Schweizer Mathematiker, der vor mehr als zwei Jahrhunderten in Europa zwischen Basel und Sankt Petersburg wirkte und, unter anderem, das Fundament der Kreiseltheorie legte. Silberfarben, aus massivem Metall und an den Außenkanten sorgfältig abgerundet, kann es auf einer harten, glatten Unterlage zwei Minuten lang kreiseln.

Die abgebildete Euler-Scheibe können Sie für € 34,– (zzgl. Versand) über unseren Science&Fun-Shop erwerben. Eine Bestellmöglichkeit finden Sie auf dem hinteren Beihefter oder im Internet unter www.science-fun.de.

Kreiselringe, wie ich sie nenne, sind auch ein Spielzeug aus der Familie der Tellerkreisel. Vor vielen Jahren sah ich sie zum ersten Mal in einem Spielwarengeschäft: fünf kleine Stahlscheiben mit farbigem Rand und einem Loch in der Mitte, auf einen zehnmal größeren Stahlring aufgefädelt. Die Verkäuferin wusste mit der von ihr feilgebotenen Ware nichts anzufangen; so entdeckte ich erst zu Hause, dass ich ein wunderbares Kreiselspielzeug erworben hatte, den Tellern und Euler-Scheiben darin überlegen, dass man seine kleinen Scheiben permanent am Kreiseln halten kann – eine Art »Perpetuum mobile«, wenn auch keines, das die Hauptsätze der Thermodynamik infrage stellt!

Um das Spielzeug anzuwerfen, ist etwas Geschicklichkeit erforderlich. Man schlägt mit der Hand locker auf die unten im Ring hängenden Scheiben und versucht, alle fünf gleichzeitig zum Kreiseln zu bringen (Bild rechts). Ist das geschafft, was nicht immer gelingt, muss man den Ring ständig weiter drehen, um die Scheiben auf einer Seite, in kleinen Abständen übereinander, »auf der Stelle« am Kreiseln zu halten. Relativ zu dem Ring, der sich an dieser Stelle aufwärts bewegt, sind die Scheiben am Fallen und gewinnen daraus die Energie, die ihre Reibungsverluste kompensiert. Falls der Ring nicht ganz sauber ist, kann es vorkommen, dass benachbarte Scheiben unterschiedlich schnell kreiseln, zusammenstoßen und nicht mehr mitspielen.

Die nicht ganz einfache Theorie dieses Spielzeugs hat schon vor über dreißig Jahren Beachtung gefunden. In einem Aufsatz in »Acta Mechanica« behandeln D. J. McGill und G. J. Butson das Kreiseln von Ringen auf geraden statt kreisförmig gekrümmten zylindrischen Stäben. Das veranlasst mich zu erwähnen, dass man größere Ringe auch auf einem gewöhnlichen Besenstiel kreiseln lassen kann. Probieren Sie's aus! Vielleicht gelingt es Ihnen sogar, sobald ein Ring unten angekommen ist, den Besen schnell zu wenden, damit der Ring weiter kreiseln kann. ◁

Wolfgang Bürger ist emeritierter Professor für Theoretische Mechanik an der Universität Karlsruhe.

Euler's Disk and its Finite-time Singularity. Von H. K. Moffatt in: Nature, Bd. 404, S. 833, 20. April 2000.

On the Motion of an Annular Disk Rolling on a Circular Cylinder. Von D. J. McGill und G. J. Butson in: Acta Mechanica, Bd. 20, S. 47, 1974.

Weblinks zu diesem Thema finden Sie bei www.spektrum.de unter »Inhaltsverzeichnis«.

Neue Physik jenseits des Standardmodells

Seit fast dreißig Jahren regiert das Standardmodell der Teilchenphysik unangefochten über den wimmelnden Zoo der fundamentalen Partikel. Doch nun beginnt die Jagd auf hypothetische Teilchen, die den Rahmen der etablierten Theorie sprengen.

BRYAN CHRISTIE DESIGN

WEITERE THEMEN IM SEPTEMBER

3-D-Einblicke in die Zellmaschinerie

Ein raffiniertes tomografisches Verfahren führt buchstäblich vor Augen, welch ein Gedränge in Zellen herrscht und wie die zahllosen Moleküle miteinander kooperieren.

Sehtraining für Teilblinde

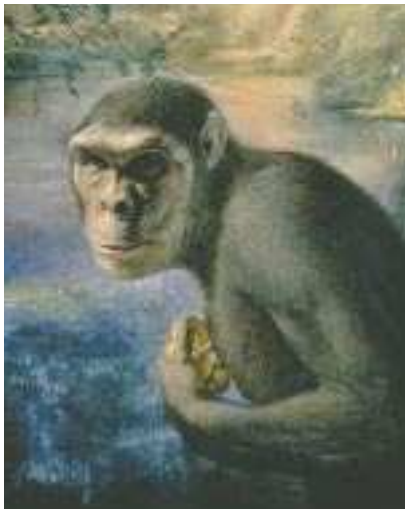
Nach einem Hirninfarkt oder einer Hirnverletzung verlieren viele Patienten Teile ihres Gesichtsfelds. Durch ein spezielles Sehtraining lassen sich die Ausfälle verringern.

Ein Vierteljahrhundert Informatik

In der Informationstheorie brodelt es wie in keiner anderen Wissenschaft: Die Computer erobern sich ein Anwendungsfeld nach dem anderen, und das Ende ihrer Möglichkeiten liegt selbst für Experten noch im Dunkeln.

Tod in Mesopotamien

In den archaischen Hochkulturen zwischen Euphrat und Tigris glaubten die Menschen an ein Leben nach dem Tod. Doch ohne Grabbeigaben und rituelle Opfer geriet das Jenseits leicht zur Hölle.



KAZUHIKO SANO

Streit um früheste Hominiden

Lebte der erste Hominide vor 6 oder schon vor 7 Millionen Jahren? Gehören die neuen afrikanischen Fossilien zu Vorfahren des Menschen oder vielmehr zu denen heutiger Menschenaffen? Paläontologen erkunden immer mehr die Grenze zwischen Affen und Vormenschen.